

DOI: 10.5846/stxb201904150750

王悦,李锋,陈新闯,胡印红,胡盼盼,杨建新.典型社区家庭消费碳排放特征与影响因素研究——以北京市为例.生态学报,2019,39(21): - .
Wang Y, Li F, Chen X C, Hu Y H, Hu P P, Yang J X. Characteristics and influencing factors of carbon emission from typical community household consumption: a case of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(21): - .

典型社区家庭消费碳排放特征与影响因素研究 ——以北京市为例

王 悦^{1,2}, 李 锋^{3,*}, 陈新闯^{1,2}, 胡印红^{1,2}, 胡盼盼^{1,2}, 杨建新^{1,2}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 清华大学建筑学院, 北京 100084

摘要:家庭消费碳排放是中国碳排放总量的重要组成部分,已成为碳排放增长的主要驱动力,从消费角度研究家庭碳排放特征及影响因素对家庭碳减排和低碳社区建设有重要意义。使用碳排放系数法和消费者生活方式法计算北京市五种典型社区家庭消费月均碳排放量,通过最优尺度回归和多重比较分析对不同社区家庭碳排放影响因素进行探究。研究发现:北京市 5 种社区户均碳排放总量及构成差异显著,影响因素不一致。其中:(1)平房类社区家庭直接碳排放量 732.26 kgCO₂/月高于其他社区,燃煤取暖是平房社区家庭直接碳排放高的主要因素,单位社区、政策性住房社区和商品房社区家庭直接碳排放量较低,约 50.00 kgCO₂/月。家庭类型显著影响每个社区家庭直接碳排放量,家庭积极参与节能环保活动有利于减少家庭直接碳排放;(2)商品房社区家庭间接碳排放量最高,达 3879.06 kgCO₂/月,平房类社区家庭最低,间接碳排放量为商品房社区的 1/3,间接碳排放是家庭生活消费碳排放的主体。食品和居住消费产生的间接碳排放量较高,老龄化社区家庭医疗保健消费碳排放量更高;(3)家庭类型和月总收入对所有社区家庭间接碳排放量影响显著,但社区环保工作满意度、社区环境满意度、家庭节能环保活动参与度、耐用品使用年限等因素影响程度存在差异,胡同社区和平房类社区中受教育水平高的家庭产生的间接碳排放量更高,需积极灌输环保理念。进一步分析了主要影响因素在不同水平下对应的家庭碳排放量差异程度与变化规律,有助于社区管理者识别高碳排放家庭,为社区低碳管理提供新思路。

关键词:城市社区;生活消费碳排放;低碳社区管理;节能减排;北京市

Characteristics and influencing factors of carbon emission from typical community household consumption: a case of Beijing

WANG Yue^{1,2}, LI Feng^{3,*}, CHEN Xinchuang^{1,2}, HU Yinong^{1,2}, HU Panpan^{1,2}, YANG Jianxin^{1,2}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Carbon emissions from household consumption are an important component of China's total carbon emissions and have become the main driving force for the growth of carbon emissions. Studying the characteristics and influencing factors of household carbon emissions from the perspective of consumption is of great significance for household carbon emissions reduction and low-carbon community construction. The carbon emissions coefficient method and consumer lifestyle analysis were used in this paper to calculate the monthly average carbon emissions of five typical community households in Beijing.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(71533004, 71734006)

收稿日期:2019-04-15; **修订日期:**2019-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: feng_li@tsinghua.edu.cn

Through the optimal scale regression and multiple comparative analysis, we explored the influencing factors of carbon emissions of households in different communities. The results showed that there were significant differences in the total amount and composition of monthly carbon emissions among the five communities in Beijing, and the influencing factors of monthly carbon emissions among the five communities are inconsistent. (1) The bungalow community has higher direct carbon emissions than other communities, reaching 732.26 kg CO₂/month and coal-fired heating being a main factor. The direct carbon emission of unit community, policy housing community, and commercial housing community households is low with about 50.00 kg CO₂/month. The family type significantly affects the direct carbon emissions in each community household, as well as the active participation of households in energy conservation and environmental protection activities is conducive to reducing household direct carbon emissions; (2) the highest indirect carbon emission of households is commercial housing community, which is 3879.06 kgCO₂/month, and the lowest carbon dioxide emission of bungalow community is 1076.66 kgCO₂/month, indirect carbon emissions are the mainstay of carbon emissions from household consumption. Food and residential indirect carbon emissions are the two highest proportions of total indirect carbon emissions, and the elderly community households have higher carbon emissions from health care consumption; (3) Family type and total monthly income have significant impact on indirect carbon emissions of all community households, while the differences in the influence extent of such factors as the satisfaction of community environmental protection work, community environmental satisfaction, family participation in energy conservation and environmental protection activities, and the service life of durable goods were identified. In the Hutong community and the bungalow community, highly educated families have higher indirect carbon emissions and need to be actively instilled in the concept of low-carbon environmental protection. Our research further analyzed the extent and variation of the corresponding household carbon emissions at different levels, so as to help community managers identify high-carbon households and provide new ideas for community low-carbon management.

Key Words: urban community; carbon emissions from household consumption; low carbon community management; energy saving and emission reduction; Beijing

城市是人类生活、生产的主要集聚地,人类能源消费主要发生在城市内,尤其是社区,它是城市居民生活的集聚区,是城市能源消费及碳排放的主要场所^[1]。城市碳排放占全球碳排放总量的 78%,对当地和全球气候变化产生直接或间接的影响,使全球气候变暖的趋势日益明显^[2]。家庭碳排放是城市碳排放总量的重要组成部分,表现为满足家庭生活所需的采暖、空调、炊事、热水等需求的能源消费的 CO₂排放量^[3]。在城镇化和国内消费不断增长的推动下,中国家庭直接和间接的能源消耗及碳排放量占有率逐渐扩大的趋势明显,成为驱动碳排放增长的主要驱动力^[4-9]。降低居民碳排放量,推行低碳社区建设是加强低碳社会建设、倡导低碳生活方式、推动社区低碳化发展的重要途径,是缓解全球气候变暖的重要举措^[10-11]。

2014 年西部城镇家庭户均间接碳排放量为 696.70 kg/月,居住与交通通信能源消费及其碳排放占比均高于其他区域^[12];2006—2016 年,北京城镇居民的直接碳排放量从 972.35 万吨增加到 1964.65 万吨,表现为持续增长的态势^[13];北京市某典型高端社区中家庭人均天然气和汽油消费碳排放分别为 374.19 kgCO₂/年和 893.55 kgCO₂/年,均比南京同类型社区家庭高 300.00 kgCO₂/年以上^[14]。家庭碳减排是低碳社区建设的重要一环,而识别不同社区家庭碳排放特征及影响因素是进行碳减排的第一步。家庭碳排放的主要受家庭内人口数量、年龄结构、居民可支配收入、居民生活消费支出等因素的影响^[15-18],但同时受到社会经济等其他外界条件的影响,不同城市具有不同的主导因素。研究表明家庭属性、消费行为、住房特征及周边公共服务设施等对西安市家庭碳排放有显著影响^[19];居民收入水平、产业结构和消费结构是影响中原经济城镇居民消费间接碳排放的主要因素,消费结构和消费意识两个因素具有明显的空间溢出效应^[20];然而对江苏省家庭碳排放的影响因素研究发现城市家庭住宅面积、家庭收入、家庭规模以及出行交通工具等是主要影响因素^[21];另有研

究发现教育水平、社区属性、消费行为模式、气候等因素亦对家庭碳排量有影响^[22-28]。

目前研究已综合分析了家庭碳排放的主要影响因素,但研究对象主要集中在城市本身,忽略了城市内不同类型社区间碳排放的差异,不同社区家庭因收入水平、社区环境、思想观念等因素,碳排放量具有明显差异,仅仅在城市尺度探讨影响碳排放的主要因素,无法对城市社区有针对性地制定节能减排政策。基于此,本文以典型城市北京为例,初步文献调查及实地调研确定北京市主要存在的五种典型社区,而后采用社会问卷调查以及座谈的方式获取五种典型社区家庭各项消费数据,在核算家庭直接碳排量与间接碳排量的基础上,分析不同类型社区家庭碳排量特征及差异,探究主要影响因素在不同取值范围内的家庭直接碳排放与间接碳排放的差异程度与变化规律,为家庭节能减排措施制定、低碳型社区建设以及城市可持续发展道路的探寻提供一定的科学依据。

1 研究方法

1.1 社区选择

借鉴已有研究中北京社区的类型划分^[29-34],本文以北京六环内胡同社区、单位社区、政策性住房、商品房社区家庭月均碳排量为研究对象,考虑到城市中针对未拆迁平房社区家庭碳排量的研究较少,家庭碳排放潜力尚不明确,故将平房类社区纳入研究范围。每类社区选取3个代表性强的小区开展家庭消费调查,小区名称、类型及地理分布如图1所示。这些小区区位分布不一,建成环境差异大,外来租客占比较低,住户阶层存在差异,具有一定的代表性。

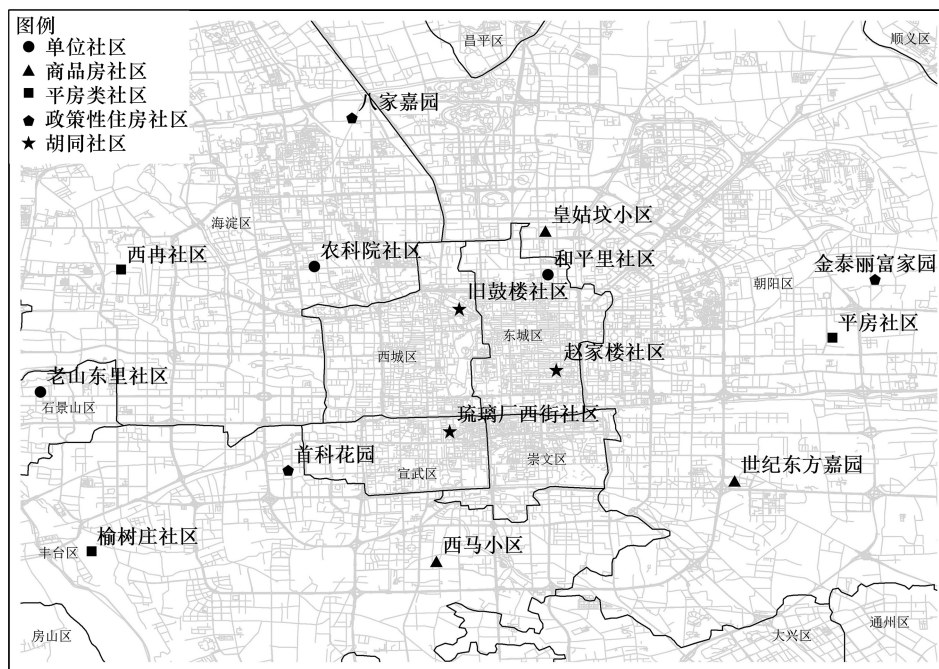


图1 社区样点分布

Fig.1 Community sample distribution

1.2 数据来源

结合文献调研结果和专家意见^[15,21,30,33,35-37],设计了“社区家庭生活消费与环境满意度调查问卷”,2018年4月,在中科院生态环境研究中心周边单位社区、商品房社区和政策性住房社区进行预调研的基础上,对问卷题目设置及选项进行最终修改与完善。整个设计经过“相关问卷设计学习-初步设计-预调研-修改”的过程以保证问卷合理性和调研方案可行性,于同年5月开展正式调研。调研内容包括五个部分:家庭基本信息、

最近一年中家庭能源与资源使用量、生活用品及服务消费额、社区环境满意度、社区环保工作关注度。

采用入户随机调研和现场填写问卷的方式在 15 个社区中进行调查,共发放问卷 651 份,回收问卷 600 份,问卷有效率为 92.2%,数据收集过程中秉持客观原则一对一访谈,以保证数据真实性和代表性。

1.3 变量设置

以不同社区家庭直接碳排放量和间接碳排放量为因变量 Y ,可能影响直接/间接碳排放量的微观因素为自变量 X 。根据已有研究^[15-19,26-27],假设影响直接碳排放 Y_1 的因素包括家庭类型、年龄结构、教育程度、月总收入、房屋获得方式^[38-40]、低碳家庭创建参与度水平、太阳能使用、是否燃煤取暖;影响间接碳排放 Y_2 的因素包括家庭类型、年龄结构、教育程度、月总收入、房屋获得方式、太阳能使用、社区环保工作满意度^[41-42]、低碳家庭创建参与度水平、社区环境满意度^[19]、耐用品年限。各变量定义及属性如表 1 所示:

表 1 自变量与因变量设置
Table 1 Setting of independent and dependent variables

变量名称 Variable name	变量符号 Variable symbol	变量属性 Variable attributes	变量定义 Definition of variables
家庭直接碳排放 Household direct carbon emissions	Y_1	数值变量	家庭直接消耗能源产生的碳排放
家庭间接碳排放 Household indirect carbon emissions	Y_2	数值变量	家庭食品、服装、医疗保健服务等行为间接消耗能源产生的碳排放
家庭类型 Family type	x_1	名义变量	一口之家=1,二口之家=2,三口之家=3,四口之家=4,多口之家=5
年龄结构 Age structure	x_2	数值变量	18—65 岁年龄区间内的青年人口数占家庭总人数的比例
教育程度 Education level	x_3	数值变量	小学=1,初中=2,高中/中专=3,本科/大专=4,研究生及以上=5,计算家庭平均学历水平
月总收入 Total monthly income	x_4	数值变量	家庭月总收入
房屋获得方式 Housing acquisition method	x_5	名义变量	购买=1,租赁=2,单位借住=3
社区环保工作满意度 Satisfaction with community environmental protection work	x_6	数值变量	非常不满意=1,比较不满意=2,一般满意=3,比较满意=4,非常满意=5,计算社区低碳环保工作的满意度值
节能环保活动参与度 Participation in energy conservation and environmental protection activities	x_7	定序变量	从不参与=1,很少参与=2,有时参与=3,经常参与=4,总是参与=5
社区环境满意度 Satisfaction with community environment	x_8	数值变量	非常不满意=1,比较不满意=2,一般满意=3,比较满意=4,非常满意=5,计算绿化环境、基础设施环境、热环境等平均满意度值
耐用品年限 Durable goods service life	x_9	定序变量	≤3 年=1,3—6 年=2,6—9 年=3,9—12 年=4,>12 年=5
太阳能使用 Whether to use solar energy	x_{10}	名义变量	用=1,不用=2
是否燃煤取暖 Whether burning coal for heating	x_{11}	名义变量	是=1,不是=2

1.4 家庭生活碳排放核算

1.4.1 家庭直接碳排放核算

家庭照明、烹饪、交通出行等行为直接使用电能、天然气、煤炭等能源产生的碳排放,使用碳排放系数法进行量化,碳排放系数及来源如表 2 所示。其中集中供暖属于居住消费,产生间接碳排放,此处使用碳排放系数法进行计算。由于家庭每月工作与游玩使用的交通方式不固定,交通碳排放量难以确定,故不作为本次核算对象。家庭直接碳排放计算公式如下:

$$E_i = \sum_i^n F_i \times E F_i$$

式中, E_i 为家庭月均 i 能源消耗产生的碳排放量; F_i 为 i 能源的消耗量; EF_i 为 i 能源消耗的碳排放因子; i 为能源类型。

表 2 碳排放系数表

Table 2 The table of carbon emission coefficient

能源种类 i Energy types i	碳排放系数 Carbon emission coefficient	单位 Unit	参考依据 Reference
电能 Electric energy	1.00	kgCO ₂ /KWh	2016 年华北区电网碳排放因子
天然气 Natural gas	2.09	kgCO ₂ /m ³	2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南
液化石油气 Liquefied petroleum gas	43.21	kgCO ₂ /罐	2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南, 参考文献[11]
煤炭 Coal	1.98	kgCO ₂ /kg	2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南
供暖 Heating	27.50	kgCO ₂ /m ²	参考文献[43]

1.4.2 家庭间接碳排放核算

将家庭消费支出划分为 8 个门类: 食品、衣着、居住、家庭设备用品及服务、医疗保健、交通通信、教育文化娱乐及服务、其他商品及服务, 每一项消费支出对应一种或多种相关行业^[20,44]。本文研究的是家庭日常生活消费中产生的间接碳排放, 只根据家庭用水、用电与集体供暖情况核算居住碳排放量。

消费者生活方式法运用家庭消费支出调查数据乘以部门累计碳排放强度, 该方法可根据各地区家庭实际消费金额反映不同家庭消费模式产生的碳排放结构差异^[44-45], 是家庭间接碳排放核算常用方法之一^[46-48], 消费支出类型与投入产出表中行业类型的关系参考董会娟^[49]文章中的分类。消费者生活方式法计算公式如下:

$$C = FY = F' (I - A)^{-1} Y$$

式中, C 为家庭生活间接能源消费碳排放量; F 为 1×8 行向量, 表示部门 1 到 8 的隐含碳排放强度; F' 为 1×8 行向量, 表示部门 1 到部门 8 的直接碳排放强度; A 为 8×8 的投入产出表的直接消耗系数矩阵; I 为与 A 的阶数相同的单位矩阵; Y 为列向量, 代表家庭八项消费类型的支出情况; $(I - A)^{-1}$ 为列昂锡夫逆矩阵, 该矩阵显示了国民经济某一部门生产技术变化时, 对其他所有部门的影响。

1.5 社区家庭消费碳排放影响因素分析

1.5.1 最优尺度回归分析

本文因变量为不同社区家庭直接/间接碳排放量, 自变量为家庭类型、月总收入等影响因素, 由于影响因素中许多变量为分类变量(家庭类型、耐用品使用年限等)而非数值变量, 若采用线性回归会影响到模型的科学与准确度, 最优尺度回归分析是由荷兰 Leiden 大学 DTSS 课题组研制并于 SPSS11.0 之后新增的一个应用程序, 可将分类变量不同取值量化处理从而将分类变量转换为数值型进行统计分析^[50-51]。该方法首先计算自变量相关系数 R , 校正判定系数 R^2 来判断回归方程拟合效果, 然后通过方差分析计算回归残差平方和、自由度及 F 值以判定回归方程显著性水平, 最后计算自变量的标准化系数以判断自变量在回归方程中是否具有统计学意义, 逐步删除未通过显著性检验和高度共线性的变量, 反复迭代后确定最优解^[52]。为了深入分析各社区户均碳排放主要影响因素, 运用 SPSS21.0 进行最优尺度回归分析, 回归模型的定义式为:

$$\hat{Y} = b_1 \hat{x}_1 + b_2 \hat{x}_2 + \cdots + b_n \hat{x}_n + \varepsilon$$

式中, $\hat{Y}$ 为标准化后的因变量; $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \cdots, \hat{x}_n$ 为变换后的自变量; $b_1, b_2, \cdots, b_n$ 为自变量的标准化回归系数; n 为自变量的个数; ε 为误差项。

1.5.2 多重比较分析

选择自变量中重要性最高的显著影响因子, 运用 SPSS 21.0 中的多重比较分析(LSD 检验)进一步得出解释变量不同水平下对被解释变量影响程度。用 t 检验完成各组均值间的配对比较, 最小显著差数(Least

significant difference, LSD) 是均差达到差异显著水平的临界值,当均差 $\geq$ 该临界值时,差异显著;当均差 $<$ 临界值时,差异不显著^[53]。该检验的敏感性高,各个水平间均值存在的微小差异也可能被检验出来,使用广泛^[54],有利于分析不同水平的自变量其对应的因变量的差异情况,比较不同社区家庭生活消费碳排放主要影响因素的作用差异,识别高碳排放群体。

2 结果与分析

2.1 受访社区特征

对调查样本筛选整理,初步分析后得到受访社区家庭基本特征如表 3 所示。平房类社区平均每户家庭有近 4 名成员,家庭中青年人数占家庭总人口数的比例为 0.75,高于其它四类社区,文化程度、家庭收入普遍低于其它四类社区。平房社区家庭呈现出家庭成员多、文化程度低、收入低的特点。胡同社区老龄化现象在 5 种社区中最为明显,除平均家庭文化程度外,胡同社区的三项指标均和单位社区相近,这可能是因为胡同社区中的部分居民是机关事业单位员工,家庭属性相似。政策性住房和商品房社区作为新型物业管理式社区,居住家庭多为三口之家和四口之家,商品房社区的家庭文化程度为 3.11,高于政策性住房社区,其家庭月收入 41600 元为不同类型社区中最高水平。本研究五类社区家庭基本信息具有明显的差异特征,对分析碳排放的影响因素具有科学意义和指导意义。

表 3 调研社区及家庭基本信息

Table 3 Survey basic information about community and family

社区类型 Community type	样本量 Sample size	平均家庭规模 Average family size	平均年龄结构 Average age structure	平均家庭文化程度 Average level of education	平均家庭总收入/元 Average household income	社区环保工作满意度 Satisfaction with community environmental protection work	社区环境满意度 Satisfaction with community environment
胡同社区 Hutong community	131	3.27	0.61	2.77	16152	2.75	2.79
单位社区 Unit community	121	3.18	0.67	3.14	17862	2.79	3.26
政策性住房 Policy housing community	122	3.65	0.65	2.85	21635	2.66	3.17
商品房社区 Commercial housing community	132	3.58	0.69	3.11	41600	3.05	3.51
平房社区 Bungalow community	94	3.71	0.75	2.28	11177	2.01	2.26

2.2 不同类型社区家庭直接碳排放特征

居民消费直接碳排放是北京市碳排放的重要来源,本文对北京市不同社区直接碳排放量进行了测算,图 2 表明社区间家庭月均直接碳排放量大小关系为:平房类社区 $>$ 胡同社区 $>$ 政策性住房社区 $>$ 商品房社区 $>$ 单位社区,主要是由于生活能源结构的不同导致。平房类社区家庭燃煤取暖率达 29.78%,家庭消费直接碳排放量 732.26 kgCO₂/月,是胡同社区的 7.3 倍,是其他三类社区近 14 倍;胡同社区经煤改电取暖后,直接碳排放明显降低,但仍然显著高于单位社区、政策性住房社区、商品房社区。这主要是由于部分老龄化居民仍有燃煤取暖现象,显著提高了社区户均直接碳排放均值。单位社区、政策性住房社区和商品房社区家庭直接碳排放由天然气使用产生,均值在 50.00 kgCO₂/月左右。单位社区家庭直接碳排放低于其他类型社区,可能与单位社区居民多为企业职工,常于食堂就餐家中炊事次数较少有关。

2.3 不同类型社区家庭间接碳排放特征

社区间家庭月均间接碳排放量如表 4 所示,其中商品房社区 $>$ 政策性住房社区 $>$ 胡同社区 $>$ 单位社区 $>$ 平房

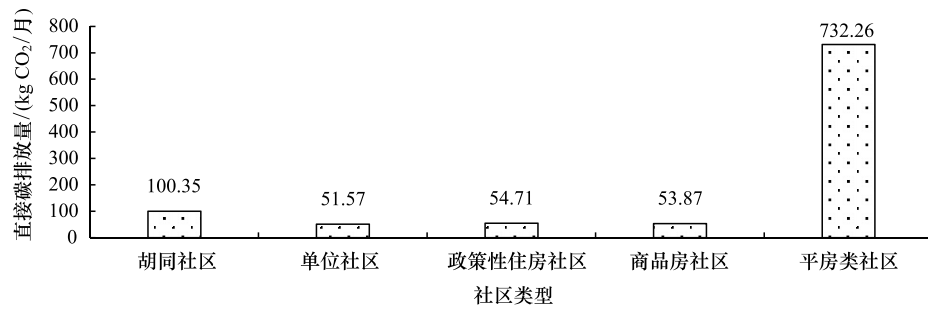


图 2 典型社区每月户均直接碳排放量

Fig.2 Direct household carbon emissions per month in typical communities

类社区。商品房社区家庭月均间接碳排放量为 3879 kgCO₂/月,是其它社区家庭的 2—4 倍,除居住碳排放量略低于政策性住房社区,其余均显著高于其余社区。政策性住房社区家庭间接碳排放量为 1783.85 kgCO₂/月,居住碳排放量最高,为 499.52 kgCO₂/月。胡同社区与单位社区间接碳排放总体类似,但胡同社区家庭医疗保健碳排放比单位社区家庭多 273.48 kgCO₂/月。平房类社区家庭月均间接碳排放量仅有 1076.66 kg,有五项消费产生的间接碳排放量为最低值,其余三项也处于较低水平。

表 4 典型社区每月户均间接碳排放量/(kgCO₂/月)

Table 4 Indirect household carbon emissions per month in typical communities

社区类型 Community type	食品 Food	衣着 Clothing	居住 Resident	设备用品及服务 Equipment supplies and services	交通通信 Transportation and communication	文教娱乐用品及服务 Cultural and educational goods and services	医疗保健 Medical care	其他用品与服务 Other services	间接碳排放总量 Total amount of indirect carbon emission
胡同社区 Hutong community	521.42	101.23	312.22	34.07	74.50	76.02	420.39	27.72	1567.57
单位社区 Unit community	570.67	97.32	431.79	38.14	92.45	58.48	146.91	36.91	1472.66
政策性住房 Policy housing community	612.24	113.06	499.52	41.58	195.87	136.15	151.50	33.93	1783.85
商品房社区 Commercial housing community	1448.31	444.21	475.78	110.13	302.54	343.50	679.89	74.68	3879.06
平房社区 Bungalow community	452.41	93.71	170.32	23.86	62.95	93.40	147.70	32.30	1076.66

商品房社区直接碳排放量与政策性住房社区接近,但间接碳排放总量是政策性住房社区的 2.2 倍,其中衣着月碳排放量是其 3.9 倍,医疗保健月碳排放量是其 4.5 倍,这可能是因为商品房社区家庭收入和学历水平高,有较高的消费能力,服饰与保健消费金额大。调研中发现,商品房社区中家庭总人数以及老龄化程度较政策性住房社区高,老年人的医疗消费提高了商品房社区的医疗保健碳排放量。单位社区与胡同社区的间接碳排放总量较为接近,但居住碳排放量显著高于高出胡同社区,文教娱乐用品及服务月碳排放量与医疗保健月碳排放量却低于胡同社区,可能是由于单位社区家庭工作距离较胡同社区家庭更远、参与娱乐活动较少,社区集中供暖率高的原因。

食物消费是重要的家庭代谢过程,是家庭资源消费和污染产生的主要体现^[55-56],图 3 表明,社区间家庭月均食品碳排放量占总量的比例均超过 30%。商品房社区和政策性住房社区的家庭规模分别为 3.58 和 3.65,食品需求量相对较高,家庭恩格尔系数较低,食品碳排放占比低于平房社区和单位社区。单位社区家庭部分成

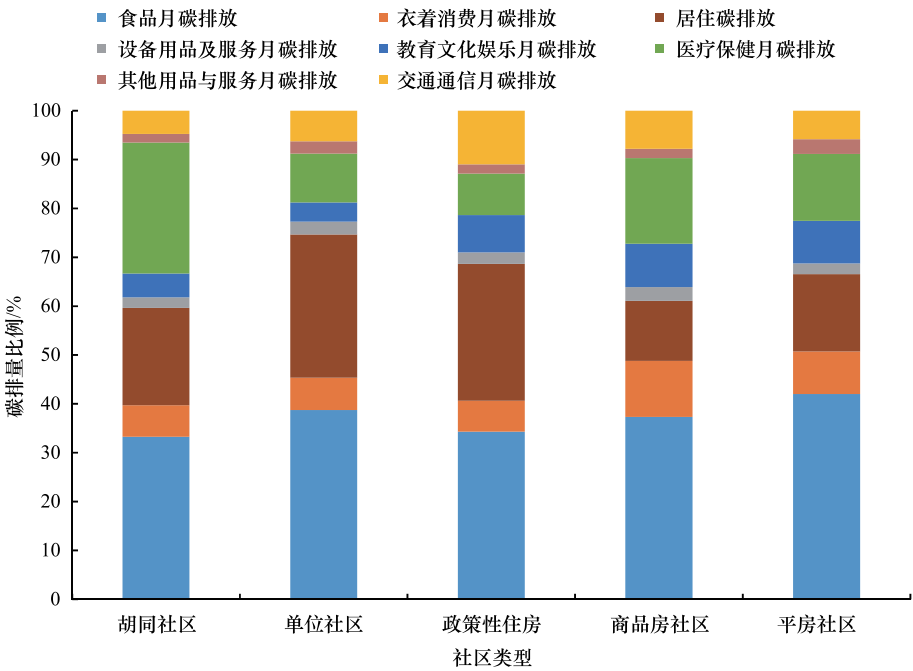


图 3 典型社区每月户均间接碳排放量结构

Fig.3 Structure of indirect carbon emissions in typical community households

员有固定食堂就餐,每月食品花费不高并且家庭规模最小仅为 3.18,表现出该社区居民对食品的需求量最低,由于间接碳排放总量不高,因此食品碳排占比相对更高。胡同社区家庭规模较小且人口偏老龄化,食品需求量整体不大,这可能是因为老年人的食品消费少。平房类社区家庭规模虽然最大,但由于家庭收入低,食品花费可能更节俭。胡同社区老龄化问题使医疗保健月碳排放量占比较高,商品房社区收入水平最高,服饰消费和衣着消费产生的碳排量占比也相对较高。

2.4 不同类型社区家庭碳排放量主要影响因素

为探究家庭直接碳排放 Y_1 和间接碳排放 Y_2 的主要因素,分别以 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7, x_{10}$ 和 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$ 为自变量对五类社区进行最优尺度回归,有燃煤取暖家庭的社区,增加自变量 x_{11} 以探究“是否燃煤取暖”对家庭直接碳排放量的影响。回归方程的显著性 $P<0.05$,表明模型具有统计学意义(表 5)。模型各自变量的容忍度在变换前、后都大于 0.1,表明模型不存在共线性问题。

表 5 各模型方差分析结果

Table 5 Variance analysis results of each model

碳排放类型 Carbon emission type	社区类型 Community type	R^2	调整 R^2 Adjusted R^2	F	P
直接碳排放 Direct carbon emissions	胡同社区	0.488	0.416	6.778	0.000
	平房社区	0.870	0.851	45.262	0.000
	单位住房社区	0.320	0.244	4.228	0.000
	政策住房社区	0.349	0.278	4.873	0.000
	商品房社区	0.279	0.213	4.225	0.000
间接碳排放 Indirect carbon emissions	胡同社区	0.511	0.443	7.456	0.000
	平房社区	0.458	0.354	4.400	0.000
	单位住房社区	0.389	0.288	3.851	0.000
	政策住房社区	0.487	0.414	6.703	0.000
	商品房社区	0.642	0.592	12.896	0.000

2.4.1 家庭直接碳排放主要影响因素

基于最优尺度回归模型系数表的参数估计结果,选择通过 $P=0.05$ 水平的显著性检验和重要性强的自变量进行汇总(表 6)。其中家庭类型对五类社区家庭直接碳排放量影响均通过 0.05 水平的显著性检验,但影响水平不同,社区家庭具有差异性,家庭类型对商品房社区、单位住房社区、政策性住房社区重要性均超过 0.5。胡同社区与平房类社区中,是否燃煤取暖对直接碳排放量回归方程贡献显著,重要性分别达到 0.969 和 0.984。月总收入因素仅在单位住房直接碳排放回归模型达到了 0.05 的显著性水平。胡同社区、单位社区和政策性住房社区中,节能环保活动参与度不同的家庭,直接碳排放差异显著,其取值分别每增加 1 个单位,预测值就分别减少了 0.108、0.134、0.222,尽管贡献不高但仍说明参与节能环保活动对家庭直接碳排放有显著影响。

通过主要影响因素的参数估计,家庭类型是单位社区、政策性住房社区和商品房社区家庭直接碳排放量最重要的影响因素,为了探究不同家庭类型对社区家庭碳排放的影响,本研究结合 LSD 检验(表 7)。随着单位社区家庭人数的增多,直接碳排放总量通常会增大,当家庭人数达到 5 人及以上时,直接碳排放总量与四人家家庭无差异,此时人均直接碳排放量 $13.22\text{ kgCO}_2/\text{月}$ 低于其他家庭类型产生的直接碳排放量。政策性住房社区多口之家直接碳排放量显著高于其他家庭,三口之家直接碳排放量显著高于两口之家,三口之家人均直接碳排放($18.01\text{ kgCO}_2/\text{月}$)>一口之家($17.22\text{ kgCO}_2/\text{月}$)>两口之家($16.47\text{ kgCO}_2/\text{月}$)>四口之家($11.32\text{ kgCO}_2/\text{月}$),多口之家人均直接碳排放量小于 $16.45\text{ kgCO}_2/\text{月}$ 。三口之家和一口之家是政策性住房社区减少家庭直接碳排放量的主要人群。当家庭人数不超过 4 人时,商品房社区家庭直接碳排放量差异不显著,但显著低于四口与多口之家。四口之家与多口之家直接碳排放量无显著差异。LSD 检验描述结果中发现,商品房社区四口之家比三口之家直接碳排放多 $1.71\text{ kgCO}_2/(\text{月}\cdot\text{人})$,四口之家比五口之家多 $2.00\text{ kgCO}_2/(\text{月}\cdot\text{人})$,说明当家庭人口到达一定数量后(4 人及以上),规模效应体现出的节能减排优势会随着人口负荷的增大而有所减弱,当人口大于 5 人时,人均直接碳排放量又相对较少。

表 6 直接碳排放量主要影响因素的参数估计结果与相关性和容忍性分析表

Table 6 Parameter estimation results and correlation and tolerance analysis tables for major influencing factors of direct carbon emissions

社区类型 Community type	变量 Variable	标准化回归系数 Standardized coefficients		P (sig)	相关性 Correlations			重要性 Importance	容差 Tolerance	
		Beta	系数标准 误差		零阶	偏相关	部分相关		转换后	转换前
胡同社区	家庭类型	-0.113	0.058	0.007	-0.070	-0.186	-0.108	0.012	0.916	0.816
Hutong community	节能环保活动 参与度	-0.108	0.056	0.026	-0.125	-0.179	-0.104	0.020	0.933	0.878
	是否燃煤取暖	-0.819	0.153	0.000	-0.799	-0.803	-0.767	0.969	0.876	0.876
平房社区	家庭类型	-0.209	0.066	0.000	-0.053	-0.448	-0.180	0.013	0.743	0.714
Bungalow community	是否燃煤取暖	-0.941	0.035	0.000	-0.910	-0.901	-0.747	0.984	0.631	0.661
单位社区	家庭类型	-0.337	0.087	0.000	-0.497	-0.325	-0.283	0.525	0.704	0.683
Unit community	节能环保活动 参与度	-0.134	0.073	0.038	-0.242	-0.153	-0.128	0.101	0.919	0.908
	月总收入	0.259	0.107	0.017	0.429	0.254	0.216	0.348	0.696	0.692
政策性住房	家庭类型	-0.425	0.083	0.000	-0.442	-0.450	-0.407	0.538	0.918	0.864
Policy housing	房屋获得方式	-0.198	0.077	0.002	-0.263	-0.233	-0.193	0.149	0.951	0.842
community	节能环保活动 参与度	-0.222	0.081	0.001	-0.262	-0.255	-0.213	0.166	0.921	0.951
商品房社区	家庭类型	0.506	0.079	0.000	0.489	0.476	0.459	0.886	0.824	0.788
Commercial housing community	房屋获得方式	0.136	0.071	0.029	0.042	0.147	0.126	0.020	0.856	0.849

表 7 家庭类型的 LSD 检验部分结论

Table 7 Some conclusions of LSD test for family type

社区类型 Community type	家庭类型 Family type		均值差 (I-J) Mean difference (I-J)	标准误 Std. error	显著性 Sig.	95% 置信区间 95% confidence interval	
						下限 Lower bound	上限 Upper bound
单位社区 Unit community	一口之家	两口之家	-20.879	10.887	0.058	-42.442	0.683
		三口之家	-33.239 *	9.951	0.001	-52.949	-13.530
	多口之家	四口之家	-53.911 *	10.818	0.000	-75.338	-32.485
		三口之家	-49.205 *	11.134	0.000	-71.257	-27.153
政策性住房社区 Policy housing community	一口之家	两口之家	65.032 *	22.315	0.004	20.839	109.226
		三口之家	49.315 *	10.889	0.000	27.751	70.880
	多口之家	四口之家	28.230 *	8.672	0.001	11.056	45.405
		三口之家	36.982 *	9.658	0.000	17.856	56.109
商品房社区 Commercial housing community	一口之家	两口之家	51.400 *	17.784	0.005	16.209	86.591
		三口之家	31.335 *	6.991	0.000	17.500	45.169
	多口之家	四口之家	27.798 *	5.572	0.000	16.771	38.824
		三口之家	6.458	6.297	0.307	-6.004	18.919

2.4.2 家庭间接碳排放主要影响因素

基于最优尺度回归模型系数表所给出的参数估计结果(表 8),月总收入对五类社区家庭间接碳排放回归模型影响极显著,该变量在模型中的重要性依次为 0.188、0.311、0.411、0.384、0.747,是平房社区、单位社区、政策性住房社区和商品房社区回归方程贡献度最大、最重要的自变量。家庭类型对各社区回归模型影响都极显著,但对胡同社区回归方程贡献度最大。教育程度对胡同社区、平房社区家庭间接碳排放的影响都很显著。家庭耐用品使用年限对所有社区家庭间接碳排放量影响显著,但重要性并不高,这可能是由于间接碳排放的来源多样化,各社区家庭设备用品及服务月碳排放量都相对较少的原因。

表 8 间接碳排放主要影响因素的参数估计结果与相关性和容忍性分析表

Table 8 Parameter estimation results and correlation and tolerance analysis tables for major influencing factors of indirect carbon emissions

社区类型 Community type	变量 Variable	标准化回归系数 Standardized coefficients		P (sig)	相关性 Correlations			重要性 Importance	容差 Tolerance	
		Beta	系数标准误差		零阶	偏相关	部分相关		转换后	转换前
胡同社区 Hutong community	家庭类型	0.528	0.078	0.000	0.470	0.552	0.474	0.509	0.805	0.807
	年龄结构	-0.205	0.080	0.012	0.012	-0.245	-0.181	-0.005	0.776	0.738
	教育程度	0.361	0.073	0.000	0.268	0.402	0.314	0.198	0.759	0.751
	月总收入	0.222	0.065	0.001	0.414	0.267	0.198	0.188	0.800	0.780
	房屋获得方式	0.155	0.074	0.014	0.004	0.200	0.146	0.001	0.887	0.859
	太阳能使用	0.202	0.074	0.008	0.008	0.248	0.183	0.003	0.821	0.777
	节能环保活动参与度	0.116	0.068	0.059	0.124	0.150	0.108	0.030	0.871	0.728
	耐用品年限	-0.186	0.077	0.004	-0.184	-0.235	-0.173	0.070	0.869	0.745
平房类社区 Bungalow community	家庭类型	0.233	0.096	0.000	0.289	0.262	0.199	0.147	0.730	0.699
	教育程度	0.173	0.089	0.050	0.302	0.191	0.143	0.114	0.685	0.736
	月总收入	0.382	0.096	0.000	0.373	0.410	0.331	0.311	0.752	0.767
	社区环保工作满意度	-0.369	0.152	0.018	-0.131	-0.302	-0.234	0.106	0.400	0.300
	节能环保活动参与度	0.199	0.112	0.081	0.038	0.224	0.169	0.016	0.722	0.493
	耐用品使用年限	0.232	0.077	0.000	0.214	0.273	0.209	0.108	0.810	0.861

续表										
社区类型 Community type	变量 Variable	标准化回归系数 Standardized coefficients		P (sig)	相关性 Correlations			重要性 Importance	容差 Tolerance	
		Beta	系数标准误差		零阶	偏相关	部分相关		转换后	转换前
单位住房社区 Unit community	家庭类型	-0.291	0.083	0.000	-0.375	-0.319	-0.263	0.281	0.818	0.657
	月总收入	0.313	0.094	0.001	0.510	0.318	0.262	0.411	0.703	0.637
	房屋获得方式	-0.177	0.068	0.002	-0.148	-0.208	-0.166	0.068	0.880	0.917
	节能环保活动参与度	-0.155	0.086	0.042	-0.170	-0.169	-0.134	0.068	0.742	0.712
	耐用品使用年限	-0.112	0.074	0.082	-0.171	-0.127	-0.100	0.049	0.799	0.806
政策性住房社区 Policy housing community	家庭类型	-0.290	0.069	0.000	-0.387	-0.354	-0.271	0.230	0.875	0.849
	月总收入	0.378	0.071	0.000	0.495	0.442	0.353	0.384	0.872	0.880
	房屋获得方式	-0.311	0.077	0.000	-0.417	-0.361	-0.278	0.267	0.797	0.776
	社区环保工作满意度	-0.172	0.099	0.086	-0.057	-0.163	-0.118	0.020	0.475	0.480
	节能环保活动参与度	-0.134	0.080	0.095	-0.036	-0.159	-0.115	0.010	0.742	0.717
商品房社区 Commercial housing community	耐用品使用年限	-0.161	0.072	0.008	-0.155	-0.205	-0.150	0.051	0.862	0.848
	家庭类型	-0.130	0.062	0.002	-0.222	-0.200	-0.122	0.045	0.886	0.746
	月总收入	0.658	0.088	0.000	0.728	0.709	0.601	0.747	0.834	0.748
	太阳能使用	-0.097	0.050	0.057	-0.261	-0.153	-0.093	0.039	0.921	0.892
	节能环保活动参与度	-0.206	0.087	0.004	-0.114	-0.242	-0.149	0.037	0.522	0.437
	社区环境满意度	0.150	0.089	0.092	0.202	0.165	0.100	0.047	0.445	0.454
	耐用品使用年限	-0.219	0.110	0.021	-0.184	-0.339	-0.215	0.063	0.965	0.854

家庭类型是胡同社区回归方程贡献度最大的自变量,社区中多口之家通常产生的间接碳排放量更高,表 9 中随着家庭人数的增大,间接碳排放均值差距逐渐缩小,个人间接碳排放量降低。家庭收入通常被认为是影响消费的主要原因之一,对胡同社区家庭总收入进行多重比较后发现胡同社区最高收入群体产生的间接碳排放量与较低收入相比存在显著差异,说明胡同社区的间接碳排放减排应吸引高收入、低人口的家庭参与。

家庭月总收入是平房类社区、政策性住房社区、单位社区和商品房社区家庭间接碳排放最重要的影响因素,分别进行多重比较,得到四类社区不同收入水平的家庭间接碳排放差异性比较结果(表 9)。平均消费水平增长是居民消费间接碳排放量增长的最主要驱动力,平房社区总收入低于 5000 元/月的家庭与月收入过万家庭产生的间接碳排放量差异通过了 0.1 水平的显著性检验。月收入超过 30000 元的家庭间接碳排放量显著高于月收入 20000 以下的家庭。因此,高收入家庭的间接碳减排是平房社区节能减排的主要目标。政策性住房中总收入低于 15000 元/月的家庭,间接碳排放量差异不显著。总收入超过 30000 元/月的家庭产生的间接碳排放和收入 25000—30000 元/月的家庭无显著差异,政策性住房社区中总收入超过 25000 元/月、人口较少的家庭是间接碳排放需要大幅减少的主要人群,这些家庭的人均间接碳排放量较高,应提高低碳消费意识。

表 9 典型社区家庭间接碳排放重要影响因素的 LSD 检验部分结论							
Table 9 Some conclusions of LSD test on important influencing factors of indirect carbon emissions in typical community households							
社区类型 Community type	家庭类型 Family type		均值差 (I-J) Mean difference (I-J)	标准误 Std. error	显著性 Sig.	95% 置信区间 95% confidence interval	
						下限 Lower bound	上限 Upper bound
胡同社区 Hutong community	多口之家	一口之家	1932.170 *	736.013	0.010	475.623	3388.718
		两口之家	1615.315 *	361.821	0.000	899.282	2331.348
		三口之家	1279.370 *	336.234	0.000	613.972	1944.767

续表

社区类型 Community type	家庭类型 Family type		均值差 (I-J) Mean difference (I-J)	标准误 Std. error	显著性 Sig.	95% 置信区间 95% confidence interval	
						下限 Lower bound	上限 Upper bound
胡同社区 Hutong community	>30k	四口之家	1061.817 *	392.273	0.008	285.519	1838.114
		<5k	2712.196 *	541.700	0.000	1640.021	3784.371
		5—10k	2417.787 *	387.682	0.000	1650.455	3185.119
		10—15k	2313.764 *	416.562	0.000	1489.272	3138.257
		15—20k	1704.870 *	443.748	0.000	826.568	2583.173
		20—25k	1778.407 *	497.583	0.001	793.552	2763.263
平房类社区 Bungalow community	<5k	25—30k	1929.841 *	541.700	0.001	857.666	3002.016
		5—10k	−385.683	218.340	0.081	−819.588	48.222
		10—15k	−638.009 *	225.501	0.006	−1086.144	−189.874
		15—20k	−703.949 *	254.049	0.007	−1208.819	−199.080
		20—25k	−687.700 *	326.781	0.038	−1337.109	−38.290
		>30k	−1283.323 *	352.063	0.000	−1982.974	−583.672
单位社区 Unit community	>30k	<5k	1607.483 *	355.523	0.000	903.195	2311.772
		5—10k	1079.989 *	203.613	0.000	676.634	1483.344
		10—15k	863.504 *	185.418	0.000	496.192	1230.816
		15—20k	439.076 *	194.728	0.026	53.321	824.831
		20—25k	508.268 *	224.853	0.026	62.837	953.699
		25—30k	516.878	270.758	0.059	−19.492	1053.249
政策性住房社区 Policy housing community	>30k	<5K	1939.031 *	427.485	0.000	1092.266	2785.796
		5—10k	1631.699 *	284.990	0.000	1067.189	2196.209
		10—15k	1488.569 *	287.377	0.000	919.330	2057.809
		15—20k	791.457 *	325.036	0.016	147.624	1435.291
		20—25k	992.798 *	298.822	0.001	400.888	1584.708
		25—30k	605.601	604.554	0.319	−591.905	1803.107
商品房社区 Commercial housing community	>30k	5—10k	5706.391 *	1191.100	0.000	3349.239	8063.542
		10—15k	5551.318 *	1079.113	0.000	3415.786	7686.851
		15—20k	5166.645 *	1479.570	0.001	2238.620	8094.669
		20—25k	3859.984 *	1304.301	0.004	1278.811	6441.158
		25—30k	4522.783 *	1927.146	0.020	709.018	8336.548

3 结论与讨论

北京市 5 种社区碳排放总量及构成差异显著,其中直接碳排放平房类社区>胡同社区>政策性住房>商品房社区>单位社区。平房社区每月平均家庭直接碳排放量是其余社区的 7—14 倍。燃煤取暖是平房社区家庭直接碳排放高的主要因素,同一类社区中,燃煤取暖家庭比非燃煤取暖家庭平均每月直接碳排放量多近 2000 kg,因此,改善能源结构,推广使用清洁能源能显著减少直接碳排放量。平房社区是社区低碳建设的重点,严格限制该社区居民燃煤取暖,推动清洁能源建设。家庭类型是影响北京市家庭直接碳排放的显著因素,家庭积极参与节能环保活动有利于减少家庭直接碳排放,以社区环保宣传教育工作为下一步工作重点,带动社区家庭参与节能环保活动减少能源使用节约资源,能从源头减少间接碳排放量。同时为减少直接碳排放的产生,在生态管理过程中需对不同家庭类型进行精准减排,衡量家庭直接碳排放量不应只关注家庭总量,还应结合规模效应体现出的减排优势,对人均直接碳排放量高的家庭开展节能减排工作,如单位社区围绕 5 人以下的家庭进行,政策性住房社区针对 4 人以下的家庭进行,而商品房则更多地对三口之家宣传节能减排的重要意义。

总体而言,高收入家庭的消费水平更高,如何引导社区中的高收入家庭进行低碳消费并做到物尽其用,是社区低碳治理工作关注的要点。

间接碳排放商品房社区>政策性住房社区>胡同社区>单位住房社区>平房类社区。商品房社区家庭月均间接碳排放是其余社区家庭的2—4倍。政策性住房社区居住碳排放最高。食品和居住间接碳排放是五类社区总间接碳排放中占比最高的两项消费,偏老龄化的社区家庭医疗保健消费产生的碳排放更高。家庭类型和月总收入对所有社区家庭间接碳排放影响显著,社区家庭属性和收入水平使得家庭消费侧重点不同,收入水平高的家庭通常更注重生活品质的提升,造成平均收入最高的商品房社区家庭间接碳排放量最高。五类社区中,家庭月均间接碳排放均高于直接碳排放,碳减排不仅是直接能源的节约使用,优化居民消费结构、倡导低碳消费、合理消费更为重要。食品消费产生的碳排放最大,家庭食品消费不应盲目,做到适量采购减少不必要的浪费。经济飞速发展的同时,居民获得更好的消费体验,服饰、日用品、家庭设备的大量采购看似平常实则是造成高碳排的罪魁祸首,只有引导家庭形成低碳消费的观念才能从根本上减少家庭生活消费CO₂的产生,实现社会、经济、环境的可持续协调发展。

本文对是对北京市典型社区家庭碳减排的初步探讨,研究数据来自问卷调查,尽管根据预调研情况对问卷内容及时调整并在调研时尽量保证结果客观真实,但难免存在误差。此外,北京市人口数多、社区类型复杂、有大量外来租户,本文未进一步探究多租户社区家庭碳排放情况,扩大社区样本量后研究结论将更全面准确。

参考文献 (References):

- [1] 夏楚瑜,李艳,叶艳妹,史舟,刘婧鸣,李效顺.基于生态网络效用的城市碳代谢空间分析——以杭州为例.生态学报,2018,38(1): 73-85.
- [2] Wener R E. Climate change 2007: Mitigation of climate change. Journal of Environmental Psychology, 2009, 29(4): 533-535.
- [3] Zhang X L, Luo L Z, Skitmore M. Household carbon emission research: an analytical review of measurement, influencing factors and mitigation prospects. Journal of Cleaner Production, 2015, 103: 873-883.
- [4] Li Y M, Zhao R, Liu T S, Zhao J F. Does urbanization lead to more direct and indirect household carbon dioxide emissions? Evidence from China during 1996-2012. Journal of Cleaner Production, 2015, 102: 103-114.
- [5] Xia Y, Wang H J, Liu W D. The indirect carbon emission from household consumption in China between 1995-2009 and 2010-2030: a decomposition and prediction analysis. Computers & Industrial Engineering, 2019, 128: 264-276.
- [6] 李静,刘丽雯.中国家庭消费的能源环境代价.中国人口·资源与环境,2017,27(12): 31-39.
- [7] Wang Y, Zhao T. Panel estimation for the impacts of residential characteristic factors on CO₂ emissions from residential sector in China. Atmospheric Pollution Research, 2018, 9(4): 595-606.
- [8] Chen L, Xu L Y, Yang Z F. Inequality of industrial carbon emissions of the urban agglomeration and its peripheral cities: a case in the Pearl River Delta, China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, 109: 438-447.
- [9] 王海鲲,张荣荣,毕军.中国城市碳排放核算研究--以无锡市为例.中国环境科学,2011,31(6): 1029-1038.
- [10] 孙静,赖云佳,石龙宇,高莉洁,李旋旗.低碳社区建设与对策思考.环境科学与技术,2015,38(S2): 449-452.
- [11] 朱雪梅,江海燕,肖荣波,吴婕.广州居住区碳排放特征及对低碳社区的启示.中国人口·资源与环境,2014,24(3): 19-23.
- [12] 胡振,王玥,何晶晶,柳燕,张玲.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.干旱区资源与环境,2019,33(4): 1-8.
- [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.北京理工大学学报:社会科学版,2019,21(3): 30-38.
- [14] Song D, Su M R, Yang J, Chen B. Greenhouse gas emission accounting and management of low-carbon community. The Scientific World Journal, 2012, 2012: 6137211-6.
- [15] Han L Y, Xu X K, Han L. Applying quantile regression and Shapley decomposition to analyzing the determinants of household embedded carbon emissions: evidence from urban China. Journal of Cleaner Production, 2015, 103: 219-230.
- [16] Hirano Y, Ihara T, Yoshida Y. Estimating residential CO₂ emissions based on daily activities and consideration of methods to reduce emissions. Building and Environment, 2016, 103: 1-8.
- [17] Bin S, Dowlatabadi H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions. Energy Policy, 2005, 33(2): 197-208.
- [18] 王勤花,张志强,曲建升.家庭生活碳排放研究进展分析.地球科学进展,2013,28(12): 1305-1312.
- [19] 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.
- [20] 史琴琴,鲁丰先,陈海,张丽君,武荣伟,梁小英.中原经济区城镇居民消费间接碳排放时空格局及其影响因素.资源科学,2018,40(6): 1297-1306.
- [21] 杜运伟,黄涛珍,康国定.基于微观视角的城市家庭碳排放特征及影响因素研究--来自江苏城市家庭活动的调查数据.人口与经济,

- 2015, (2): 30-39.
- [22] Dai H C, Masui T, Matsuoka Y, Shinichiro F. The impacts of China's household consumption expenditure patterns on energy demand and carbon emissions towards 2050. *Energy Policy*, 2012, 50: 736-750.
- [23] Liu W L, Spaargaren G, Heerink N, Mol A P J, Wang C. Energy consumption practices of rural households in north China: basic characteristics and potential for low carbon development. *Energy Policy*, 2013, 55: 128-138.
- [24] Golley J, Meng X. Income inequality and carbon dioxide emissions: the case of Chinese urban households. *Energy Economics*, 2012, 34(6): 1864-1872.
- [25] Maat K, Timmermans H J P. Influence of the residential and work environment on car use in dual-earner households. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, 43(7): 654-664.
- [26] Yang Z, Fan Y, Zheng S Q. Determinants of household carbon emissions: pathway toward eco-community in Beijing. *Habitat International*, 2016, 57: 175-186.
- [27] Ye H, Qiu Q Y, Zhang G Q, Lin T, Li X H. Effects of natural environment on urban household energy usage carbon emissions. *Energy and Buildings*, 2013, 65: 113-118.
- [28] McNeil M A, Feng W, De La Rue Du Can S, Khanna N Z, Ke J, Zhou N. Energy efficiency outlook in China's urban buildings sector through 2030. *Energy Policy*, 2016, 97: 532-539.
- [29] 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.
- [30] 肖作鹏, 柴彦威, 刘志林. 北京市居民家庭日常出行碳排放的量化分布与影响因素. *城市发展研究*, 2011, 18(9): 104-112.
- [31] Yan B Q, Gao X L, Lyon M. Modeling satisfaction amongst the elderly in different Chinese urban neighborhoods. *Social Science & Medicine*, 2014, 118: 127-134.
- [32] 秦波, 田卉. 社区空间形态类型与居民碳排放--基于北京的问卷调查. *城市发展研究*, 2014, 21(6): 15-20.
- [33] 张艳, 柴彦威, 郭文伯. 北京城市居民日常活动空间的社区分异. *地域研究与开发*, 2014, 33(5): 65-71.
- [34] 贾晓朋, 孟斌, 张媛媛. 北京市不同社区居民通勤行为分析. *地域研究与开发*, 2015, 34(1): 55-59, 70-70.
- [35] Girod B, De Haan P. GHG reduction potential of changes in consumption patterns and higher quality levels: evidence from Swiss household consumption survey. *Energy Policy*, 2009, 37(12): 5650-5661.
- [36] Lin T, Yu Y J, Bai X M, Feng L, Wang J. Greenhouse gas emissions accounting of urban residential consumption: a household survey based approach. *PLoS One*, 2013, 8(2): e55642.
- [37] 叶红, 潘玲阳, 陈峰, 汪凯, 黄少鹏. 城市家庭能耗直接碳排放影响因素--以厦门岛区为例. *生态学报*, 2010, 30(14): 3802-3811.
- [38] Anderson K, Song K, Lee S, Lee H, Park M. Energy consumption in households while unoccupied: evidence from dormitories. *Energy and Buildings*, 2015, 87: 335-341.
- [39] Iwata K, Katayama H, Arimura T H. Do households misperceive the benefits of energy-saving actions? Evidence from a Japanese household survey. *Energy for Sustainable Development*, 2015, 25: 27-33.
- [40] Levinson A, Niemann S. Energy use by apartment tenants when landlords pay for utilities. *Resource and Energy Economics*, 2004, 26(1): 51-75.
- [41] 石龙宇, 许通, 高莉洁, 韩林桅, 李倩瑜. 可持续框架下的城市低碳社区. *生态学报*, 2018, 38(14): 5170-5177.
- [42] 曹佳磊, 杨天珩, 薛敏. 我国低碳社区建设居民认知及参与研究--以动机理论为分析视角. *改革与开放*, 2015, (16): 65-66, 68-68.
- [43] 陈莎, 李焱佩, 程利平, 杨孝光. 基于 LCA 的北京市社区碳排放研究. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(S2): 5-9.
- [44] Reynolds C J, Piantadosi J, Buckley J D, Weinstein P, Boland J. Evaluation of the environmental impact of weekly food consumption in different socio-economic households in Australia using environmentally extended input-output analysis. *Ecological Economics*, 2015, 111: 58-64.
- [45] Qu J S, Zeng J J, Li Y, Wang Q, Maraseni T, Zhang L H, Zhang Z Q, Clarke-Sather A. Household carbon dioxide emissions from peasants and herdsmen in northwestern arid-alpine regions, China. *Energy Policy*, 2013, 57: 133-140.
- [46] 赵定涛, 汪臻, 范进. 技术、消费模式与中国碳排放增长--中国八大区域的实证研究. *系统工程*, 2012, 30(8): 1-9.
- [47] 唐葆君, 李银玲. 居民生活行为对能源消费及二氧化碳排放的影响研究--以北京市为例. *工业经济论坛*, 2015, (4): 1-20.
- [48] Xu X K, Han L Y, Lv X F. Household carbon inequality in urban China, its sources and determinants. *Ecological Economics*, 2016, 128: 77-86.
- [49] 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.
- [50] 王爱英, 时松和, 冯丽云, 李敬镨, 陈双喜. 工作满意度影响因素的最优尺度回归分析. *中国卫生统计*, 2008, 25(5): 523-525.
- [51] 黄经南, 黄小康, 高浩武. 城市家庭日常出行碳排放的影响因素--以武汉市为例. *城市问题*, 2015, (5): 66-76.
- [52] 范建刚, 李春玲. 农民工职业流动中的“去体力化”机制--基于对 1393 名农民工调查的分析. *吉林大学社会科学学报*, 2015, 55(2): 33-44.
- [53] 符民, 文尚胜, 陈浩伟, 马丙戌. 基于 LSD 分析 LED 多重光质配比对芦荟生长的影响. *发光学报*, 2016, 37(3): 366-371.
- [54] 魏泽辉, 郑惠玲, 贾存灵. 动物试验中多重比较方法的选择. *中国家禽*, 2018, 40(24): 1-6.
- [55] 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.
- [56] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消费碳足迹. *生态学报*, 2012, 32(5): 1570-1577.