

长三角城市居民家庭直接能耗碳排放空间特征及影响因素研究

王素凤, 赵嘉欣*

(安徽建筑大学经济与管理学院, 安徽合肥 230601)

【摘要】 目前关于碳排放的研究主要以国家和行政省(自治区、直辖市)为研究对象,围绕城市尺度家庭层面碳排放的研究相对匮乏,而家庭是社会最基本的组成单位,针对相关的碳排放特征及影响问题亟待解决。本文以2007—2016年长三角地区26个地级市数据为样本,测算城市居民家庭直接能耗碳排放量。利用K均值聚类法、空间相关性检验及空间面板建模等方法,考察城市居民家庭直接能耗碳排放量的空间演变分布特征及影响因素。结果表明:①城市居民家庭直接碳排放量高的城市位于长三角中部偏东的位置,排放量低的城市集中在西部位置,中部地区的碳排放量增长速度普遍快于其他地区。②长三角地区城市居民家庭直接能耗碳排放的空间关联程度呈“N”字形趋势,处于高高集聚状态的区域集中在以苏州市等为核心的偏中部地区,处于低低集聚状态的区域集中在西部边缘地区。③前后5年的回归结果对比表明:户均人口数由不显著的正向影响因素转变为重要的抑制因素;户均私家车与每户拥有的城市道路面积联合效应的正向影响作用越来越强烈。研究结论可为城市在动态制定碳减排政策时提供理论依据。

【关键词】 居民家庭直接能耗碳排放;空间特征;影响因素;长三角地区

【中图分类号】 F205

【文章编号】 1674-6252(2020)02-0131-07

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.02.131

引言

IPCC第五次评估报告表明CO₂浓度的升高加剧了全球变暖的严峻趋势。据《中国温室气体公报》显示,2017年中国区域年均CO₂浓度为405.5±3.0ppm,华东地区高达408.3±1.9ppm,是全国年均CO₂浓度最高的地区。长三角地区作为华东地区综合实力最强的地区,承担着可持续发展等重大任务,因此针对长三角地区碳排放的研究尤为关键。

针对碳排放的研究主要集中在工业领域^[1],但越来越多的研究表明居民消费领域逐渐成为继工业领域后碳排放增长的重要源泉^[2],并针对其在碳足迹测算^[3]、驱动影响^[4]和时空格局^[5]等方面取得了丰富的研究成果。在碳足迹测算方面,Tian等^[6]以辽宁省为研究对象,利用碳排放系数法量化了1997年、2002年和2007年居民消费碳排放足迹,发现城市居民的碳足迹高于农村居民;在驱动影响等方面,Huang等^[7]应用LMDI法分解了广东省2008—2015年人均碳排放量,发现经济增长是驱动家庭能源消费人均碳

排放持续增长的最重要因素;在时空格局方面,刘丽娜等^[8]采用空间相关性分析和空间回归建模的方法,从时间和空间的角度探究了1997—2012年中国居民消费碳排放分布格局,表明自2012年起居民消费碳排放呈由西向东递增的状态。居民家庭碳排放是消费领域碳排放一个重要的分支,但直接关于家庭碳排放的研究十分匮乏,现有的研究主要集中在国家和行政省(自治区、直辖市)层面。譬如,Wang等^[9]构建了扩展的STIRPAT模型分析中国家庭碳排放量的影响因素,研究表明,家庭数量在中国家庭碳排放总量中占有关键的地位,碳排放强度对家庭碳排放总量的影响为正。专门围绕城市层面的居民家庭能耗碳排放的研究还有待补充和完善。

为此,本文以《长江三角洲城市群发展规划》中涉及的26个地级市为研究对象,以测算的城市居民家庭直接能耗碳排放为样本,研究其空间特征和驱动因素,技术框架如图1所示,旨在完成以下两个贡献:①利用碳排放系数法测算家庭直接能耗碳排放量,结

资助项目: 安徽省高校人文社会科学研究重点项目“产业转移背景下安徽参与长三角雾霾协同治理研究”(SK2019A0647);安徽省哲学社会科学规划项目“长三角雾霾跨界污染的时空特征、驱动因素及补偿机制研究”(AHSKF2019D047)。

作者简介: 王素凤(1978—),女,博士,教授,主要研究方向为环境经济学, E-mail: wangsufeng927@ahjzu.edu.cn。

*** 责任作者:** 赵嘉欣(1996—),女,硕士研究生,主要研究方向为环境经济学, E-mail: 1243696173@qq.com。

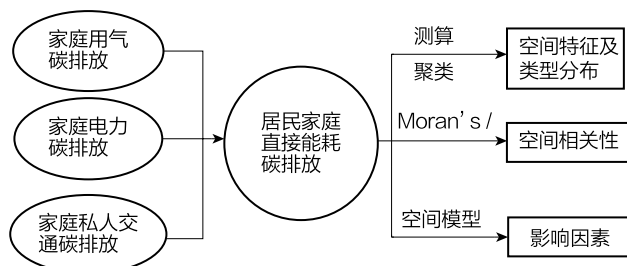


图1 技术框架

合全局与局部 Moran's I 指数探究其中的空间关联性及内部集聚状态。②选取家庭规模、家庭财富等指标构建家庭直接能耗碳排放空间面板模型,对比不同时期下影响因素变化情况,既补充了城市居民家庭碳排放在空间视角下的研究,又可为制定减排规划提供合理依据。

1 研究方法

采用曾静静^[10]提出的分类法划分城市居民家庭直接能耗碳排放的构成,即居民家庭直接能耗由家庭用气碳排放、家庭电力碳排放、家庭私人交通碳排放和热力(集中供暖)碳排放构成。但长三角地区无集中供暖且人工煤气已逐渐被天然气等替代^[11],柴油不是私家车常用的油品,新能源汽车也未得到普及,故最终将长三角地区城市居民家庭直接碳排放能源划分成4类,即天然气、液化石油气、电力和汽油。本文参考 IPCC 提供的碳排放估算方法并结合张艳^[12]等的研究,将长三角地区城市居民家庭直接能耗碳排放的构成和计算方法进行梳理,具体如表1所示。

表1中涉及的各类一次能源碳排放系数均来自

《省级温室气体清单编制指南》。家庭电力碳排放计算中,特别地利用每年三省一市的火力发电碳排放系数代替对应的省或市内城市的电力碳排放系数。这样做,原因有二:其一,电力类型虽分为火电、水电等,但火电通过燃烧一次能源产生,其他发电方式是在安装设备等过程中产生碳排放而不是在发电过程中^[13];其二,《中国能源统计年鉴》显示,长三角地区常年火力发电产生的电量占总发电量的80%以上^①。家庭私人交通碳排放中,参考相关文献^[14,15],设置2007—2009年私家车年均行驶里程为15 000km,2010—2016年为20 000km,摩托车行驶里程为5 500km。百公里私家车的耗油系数为12L,摩托车为2.08 L。其余数据均来自2007—2016年《中国城市建设统计年鉴》、2008—2017年《中国能源统计年鉴》和各地级市统计年鉴。

1.1 K均值聚类法

K均值聚类法的基本步骤是先将样本分成K类初始中心,依据距离的远近将样本分配到最近中心,重复此过程直至所有样本不能再分配^[16]。本文利用SPSS 22输出的最终聚类中心,划分居民家庭直接能耗碳排放城市类型,并考察其空间分布特征。

1.2 全局与局部相关性检验

全局相关性检验应用于研究整个区域空间单元之间的关联性,常用统计量 Moran's I 表示。利用 Moran's I 指数研究区域空间关联程度,其标准化的统计量(Z值)检验 Moran's I 值的显著性。全局

表1 长三角地区城市家庭直接能耗碳排放的构成和计算方法

碳排放项目	计算公式	说明
家庭用气碳排放	$Eg = \sum_{i=1}^2 F_i \times k_i / H_i$	家庭用气碳排放由家庭天然气和液化石油气碳排放构成 $i=1,2$ 对应天然气和液化石油气; F_i 、 k_i 和 H_i 分别表示城市家庭能源用量、能源碳排放系数和能源使用户数
家庭电力碳排放	$Eel = F_{el} \times AHP \times k_{el} / P$ $k_{el} = \sum_{j=1}^J E_j \times k_j / EL$	F_{el} 、 AHP 、 k_{el} 和 P 分别表示各城市居民耗电量、户均人口数、电力碳排放系数和常住人口数; $j=1,2 \cdots$ 对应《中国能源统计年鉴》中一次能源种类; E_j 、 k_j 和 EL 对应各地区火力发电过程的能源消耗量、能源碳排放系数和火力发电量
家庭私人交通碳排放	$Ept = q \times \sum_{n=1}^2 Q_n \times L_n \times k_n$	家庭私人交通碳排放由家庭私家车和摩托车碳排放构成 q 为汽油碳排放系数; $n=1,2$ 对应私家车和摩托车; Q_n 、 L_n 、 k_n 对应家庭车辆拥有数、年均行驶里程、百公里油耗系数
居民家庭直接能耗碳排放	$Ed = Eg + Eel + Ept$	单位: t

① 《中国能源统计年鉴2017》显示,上海市2014—2016年发电量(单位:亿kW·h,下同)分别为793、793和807,江苏省分别为4346、4361、4709,浙江省分别为2829、3011、3198,安徽省分别为2074、2062、2253。其中,火力发电量,上海市分别为790、788、800,江苏省分别为4094、4104、4403,浙江省分别为2255、2260、2374,安徽省分别为2018、1988、2135。

Moran's I 指数的计算公式如下式所示^[17]:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中, n 为城市个数; x_i 、 x_j 分别表示 i 和 j 城市测算的碳排放量值; $\bar{x}$ 为均值; w_{ij} 为空间权重矩阵。若 Moran's I 值为正且越接近 1, 则家庭直接能耗碳排放地区空间正相关性越强; 若 Moran's I 值为负且越接近 -1, 则家庭直接能耗碳排放地区空间负相关程度越强。

局部相关性检验是全局相关性检验的补充, 可识别出区域内部不同的集聚状态, 常用统计量 Local Moran's I 指数表示。当空间位置为 i 时, Local Moran's I 指数的计算公式如下式所示^[23]:

$$\text{Local Moran's } I = \sum w_{ij} z_i z_j \quad (2)$$

式中, z_i 和 z_j 分别为城市 i 和 j 标准化后的观测值; 其余指标的含义同式 (1)。若局部 Moran's I 显著为正且 z_i 为正, 则属于高高集聚; 若局部 Moran's I 显著为正且 z_i 为负, 则属于低低集聚; 若局部 Moran's I 显著为负且 z_i 为正, 则属于高低集聚; 若局部 Moran's I 显著为负且 z_i 也为负, 则属于低高集聚。

1.3 模型设置

为较全面地表达居民家庭直接能耗碳排放与解释变量间的空间关系, 本文参考相关研究^[18], 选择 Luc Anselin^[19] 提出的带空间自回归误差项的空间自回归模型 (常记为 SARAR)。该模型的一般表达式如下:

$$y = \lambda Wy + X\beta + \varepsilon; \quad \varepsilon = \rho W\varepsilon + \mu \quad (3)$$

式中, y 、 W 、 X 、 β 、 ε 和 μ 的含义分别为 $n \times 1$ 被解释变量向量、 $n \times n$ 空间权重矩阵、 $n \times k$ 解释变量矩阵、 $k \times 1$ 回归系数向量、 $n \times 1$ 误差向量和不相关的误差项。 λ 是空间自回归系数, 若其显著, 则解释变量间存在明显的空间依赖关系。 ρ 是误差项空间自回

归系数, 若其显著, 则误差项存在空间自相关。

2 长三角地区居民家庭直接能耗碳排放空间特征

2.1 居民家庭直接能耗碳排放量分布特征

根据表 1 的公式计算居民家庭直接能耗碳排放量, 2007 年和 2016 年的测算结果如图 2 所示。2007 年长三角地区城市居民家庭直接能耗碳排放量差距不是特别明显。其中, 碳排放量最高的城市 (苏州市) 与最低的地级市 (盐城市) 户均相差仅约 2.7t。碳排放量较高的城市集中在以苏州市为核心的中部偏东的位置, 其次是东南方向以浙江省地级市为主, 最后是北部和西部边缘地区的安徽省地级市。整个长三角地区由西向东呈现低—高一较高的居民家庭直接能耗碳排放特征。

2016 年户均城市居民家庭直接能耗碳排放量分布出现稍许差异。首先, 居民家庭直接能耗碳排放量高的城市与低的城市相比, 差距明显增大。居民家庭直接碳排放量低的城市 (安庆市) 居民家庭直接能耗平均碳排放量约为 3.42t, 而碳排放量高的城市 (苏州市) 户均碳排放量高达 9.3t。无锡市和苏州市作为居民家庭直接碳排放量最高的两个城市, 周边大部分地级市如湖州市等与西部或北部地区的大部分地级市如滁州市等相比, 前者的碳排放量增长速度明显快于后者。

2.2 居民家庭直接能耗碳排放城市类型分布特征

本文利用 K 均值聚类法划分, 依据 SPSS 输出的最终聚类中心划分长三角地区居民家庭直接能耗碳排放城市类型, 如表 2 所示。2007 年居民家庭直接能耗碳排放城市类型可划分成 4 类, 分别是低碳型、以电力碳排放为主、以用气碳排放为主、以私人交通碳排放为主。以电力碳排放为主类型包括的城市数目最多。以用气碳排放为主类型的城市只有嘉兴市和宁波市。无锡市和苏州市是以私人交通碳排放为主, 且周边城市如常州市等主要以电力碳排放

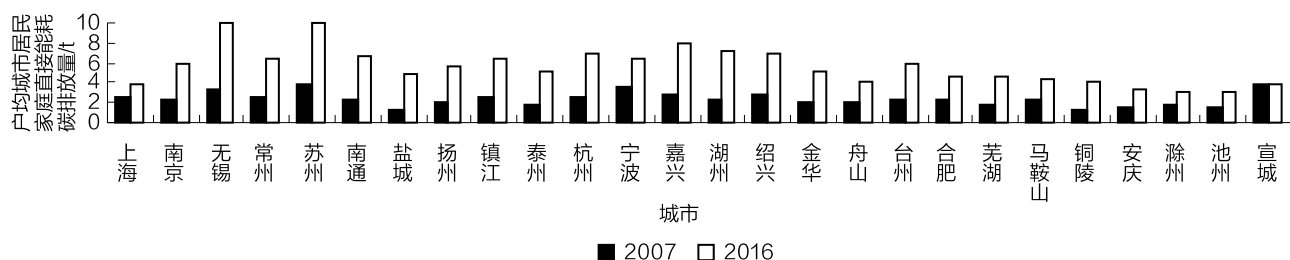


图2 长三角地区居民家庭直接能耗碳排放量

表2 长三角地区居民家庭直接能耗碳排放城市类型分布特征

年份	城市类型	城市名称
2007	低碳排放型	盐城市、泰州市、马鞍山市、铜陵市、安庆市、滁州市、池州市、宣城市
	以电力碳排放为主型	上海市、南京市、常州市、南通市、扬州市、镇江市、杭州市、湖州市、绍兴市、金华市、舟山市、台州市、合肥市、芜湖市
	以用气碳排放为主型	宁波市、嘉兴市
	高碳排放型	无锡市、苏州市
2012	低碳排放型	上海市、镇江市、马鞍山市、安庆市、滁州市、池州市、宣城市
	以用气碳排放为主型	嘉兴市
	中等碳排放型	南京市、常州市、南通市、盐城市、扬州市、泰州市、杭州市、宁波市、湖州市、绍兴市、金华市、舟山市、台州市、合肥市、芜湖市、铜陵市
	高碳排放型	无锡市、苏州市
2016	低碳排放型	上海市、铜陵市、安庆市、滁州市、池州市、宣城市
	以电力和用气碳排放为主型	盐城市、扬州市、泰州市、金华市、舟山市、合肥市、芜湖市、马鞍山市
	中等碳排放型	南京市、常州市、南通市、镇江市、杭州市、宁波市、绍兴市、台州市
	以私人交通碳排放为主较高型	嘉兴市、湖州市
	高碳排放型	无锡市、苏州市

为主。

2007—2012 年，居民家庭用气碳排放和私人交通碳排放的增长程度较大。无锡市和苏州市仍为高碳排放型城市，其周边城市如常州市等大多以电力碳排放为主转变成中等型碳排放城市。以用气碳排放为主的城市仅剩嘉兴市。

2016 年城市类型呈现多元化，较 2012 年又出现了两个新的类型——以电力和用气碳排放为主的城市和以私人交通碳排放为主的较高型城市。苏州市和无锡市依旧是高碳排放型城市，但相邻的城市类型不再单一，其北部方向有以电力和用气碳排放为主的泰州市；南部方向的嘉兴市和湖州市的碳排放量增长迅速，属于以私人交通碳排放为主的较高型城市；东部方向上海市依然属于低碳排放型；东北和西北方向的城市类型以中等型城市为主。

2.3 居民家庭直接能耗碳排放的空间演化特征

2.3.1 全局相关性

根据式（1），采用基于行标准化后的 Q 型邻接关系空间权重矩阵，计算各年居民家庭直接能耗碳排放 Moran's I 指数，居民家庭直接能耗碳排放的 Moran's I 值如图 3 所示。2007—2016 年长三角地区城市居民家庭直接碳排放呈现明显的地理集聚现象。居民家庭直接能耗碳排放的 Moran's I 指数约为 0.37，年均增长率为 2.3%。

从整体上看，居民家庭直接能耗碳排放的集聚程度呈“N”字形趋势，并据其数值的波动情况，空间集聚趋势可大致划分为 4 个阶段。2007—2009 年的

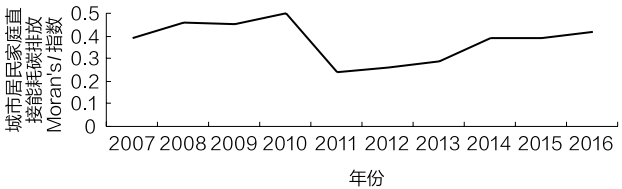


图3 长三角地区城市居民家庭直接能耗碳排放 Moran's I 指数

Moran's I 指数均值为 0.36，没有明显波动，表示长三角地区居民家庭直接能耗碳排放存在较强且稳定的空间自相关性；2009—2011 年出现大幅波动，2010 年 Moran's I 值升至 0.42 后，2011 年陡降至 0.26，表示在这一年碳排放的空间关联性虽依然很强但较上一阶段相比有所减弱。2011—2013 年地区空间关联性快速增强。2013—2016 年的 Moran's I 均值为 0.41，增长情况较平稳。

2.3.2 局部相关性

为进一步探究长三角地区居民家庭直接能耗碳排放内部集聚情况，本文利用式（2）计算 2007 年和 2016 年的局部 Moran's I 指数。局部 Moran 散点图如图 4 所示。

2007 年处于高高集聚状态的城市处于东部位置，分别为上海市、苏州市、嘉兴市和湖州市；低低状态主要集中在西部，对应城市为芜湖市、铜陵市和安庆市，另外一个为偏北部的泰州市；合肥市属于高低的集聚状态；低高状态在该年并未出现。2016 年处于高高集聚状态的城市大致集中在中心偏东位置，分别为无锡市、苏州市、嘉兴市和湖州市；低低状态的城市

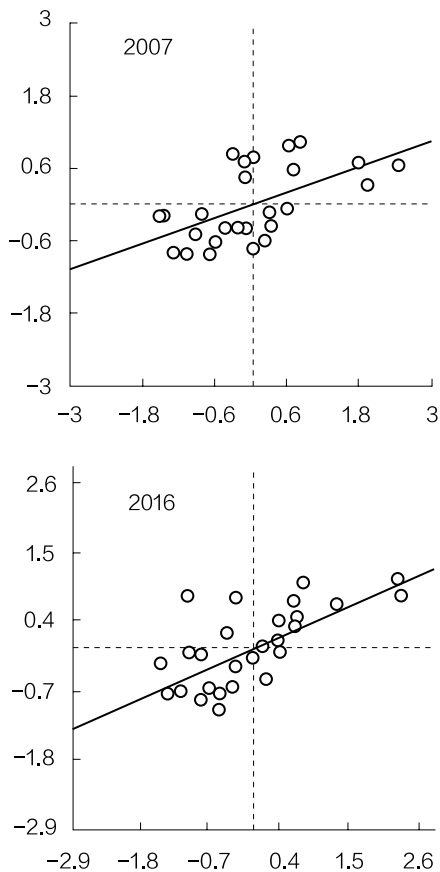


图4 长三角地区居民家庭直接能耗碳排放局部Moran散点图

分别是合肥市、芜湖市、马鞍山市、铜陵市、安庆市和池州市。

3 长三角地区城市居民家庭直接能耗碳排放影响因素分析

3.1 SARAR 模型构建

本文参考相关研究^[20,21]，选取户均人口数（ H_p ，单位：人）、家庭可支配收入（ H_{di} ，单位：万元）、户均建筑面积（ H_{ca} ，单位： m^2 ）、户均就业面（ H_{em} ，户均就业人口数和户均人口数之比）和户均汽车拥有量与户均拥有城市道路面积联合效应（ H_{cHroad} ，单位：量· m^2 ）作为解释变量，以居民家庭直接能耗碳排放量（ H_{dce} ，单位：t）为被解释变量，对所有变量对数化处理后构建城市居民家庭直接能耗碳排放 SARAR 模型。描述性统计结果如表 3 所示。为消除价格影响，居民家庭可支配收入利用各城市居民消费价格指数平减折算成 2006 年不变价。户均城市道路面积由 2007—2016 年《中国城市建设统计年鉴》的人均道路面积和户均人口数折算得来，其余解释变量均来自 2008—2017 年各地级市统计年鉴。具体模型如下式：

$$\ln(H_{dce}) = \lambda W \ln(H_{dce}) + \beta_1 \ln(H_p) + \beta_2 \ln(H_{di}) + \beta_3 \ln(H_{ca}) + \beta_4 \ln(H_{em}) + \beta_5 \ln(H_{cHroad}) + \varepsilon$$
$$\varepsilon = \rho W \varepsilon + \mu \tag{4}$$

表3 变量描述性统计

变量	样本数	最小值	最大值	均值	标准差
$\ln H_{dce}$	260	0.15	2.45	1.28	0.45
$\ln H_p$	260	0.4	0.55	0.46	0.03
$\ln H_{di}$	260	1.03	2.58	1.88	0.34
$\ln H_{ca}$	260	1.79	2.23	2	0.09
$\ln H_{em}$	260	-1.1	-0.24	-0.61	1.32
$\ln H_{cHroad}$	260	-3.63	0.1	-1.38	0.75

3.2 检验和回归结果

Baltagi 等^[22]提出了 5 个关于随机效应和空间误差相关的拉格朗日乘数检验，分别是 LMH、LM1、LM2、CLMLambda 和 CLMMu 检验。若 LMH 检验中拒绝原假设，表明模型需考虑随机效应或空间相关性；若 CLMLambda 拒绝原假设，表示在存在随机效应的情况下，模型需考虑空间相关性。在 R 语言中实现 LMH、CLMLambda 统计量的检验，前者值为 226.65， p 值 $< 2.2e^{-16}$ ；后者值为 2.22， p 值 0.026。二者皆通过 95% 显著性检验，故在存在随机效应的情况下，该模型应考虑空间相关性。Hausman 检验值为 151.04， p 值 $< 2.2e^{-16}$ 高度显著，故拒绝原假设，选择固定效应模型。

利用极大似然估计法估计 2007—2016 年居民家庭直接能耗碳排放的 SARAR 模型，并对比前后 5 年的回归结果，如表 4 所示。

表4 长三角地区居民家庭直接能耗碳排放的 SARAR 模型回归结果

变量	2007—2016 年	2007—2011 年	2012—2016 年
$\ln H_p$	1.18** (2.53)	1.06 (1.31)	-1.14** (-2.03)
$\ln H_{di}$	-0.09 (-0.9)	-0.24** (-2.1)	-0.04 (-0.37)
$\ln H_{ca}$	0.54*** (3.23)	0.67 (1.4)	0.52** (3.03)
$\ln H_{em}$	0.18** (2.35)	0.28** (1.96)	0.17* (1.85)
$\ln H_{cHroad}$	0.24*** (9.34)	0.17*** (4.48)	0.34*** (8.3)
λ	0.54*** (6.6)	0.75*** (10.98)	0.43*** (3.39)
ρ	-0.92*** (-6.73)	-0.93*** (-5.53)	-0.31 (-1.41)
类别	双固定效应	个体效应	个体效应
N	260	130	130

注：***、**和*分别表示通过 1%、5%和 10% 水平下显著性检验；括号内为 t 值

3.3 回归结果分析

2007—2016年的 λ 和 ρ 均高度显著,表明各变量间存在显著的空间相关性。户均人口数、户均建筑面积、户均就业面和户均车辆与每户拥有的城市道路面积的联合效应均会显著地正向影响居民家庭直接能耗碳排放量。户均人口数对居民家庭直接能耗碳排放的正影响最大,其次是户均建筑面积,表明居民家庭规模的扩大、居民家庭建筑面积的增加会使得居民家庭直接能耗碳排放量增大。居民家庭可支配收入虽是负影响,但表现并不显著。

2007—2011年回归结果表明,家庭可支配收入对居民家庭直接能耗碳排放具有显著的负影响。这可能是因为2007—2011年随着家庭可支配收入的增多、城镇化率的提升、家庭的能源消费结构出现转变。城市的燃气普及率越来越高,相当多的城市如上海市等燃气普及率达到100%,由此可知煤炭等高碳排放的能源逐步被天然气、液化石油气等能源替代,故这一期间随着居民家庭可支配收入的增多,居民家庭直接能耗碳排放量减少。

2012—2016年较2007—2011年回归结果出现几点不同:第一,户均人口数对居民家庭直接能耗碳排放由不显著的正影响转变成显著且强烈的负影响。胡振等^[23]等的研究发现,居民家庭规模是抑制日本户均碳排放的重要因素,这与2012—2016年的回归结果类似。出现这样的转变可能是因为居民家庭规模的扩大使得人口集聚程度提高,城市间的形态也越来越紧凑;陈占明等^[24]的研究表明,紧凑的城市形态有助于降低碳排放量,而居民家庭直接碳排放作为构成城市碳排放的一部分可能随之下降。故随着户均人口数的增多,抑制了居民家庭直接能耗碳排放量。第二,户均车辆与每户拥有城市道路面积的联合效应对被解释变量的影响更强烈。这可能是因为这段时间居民家庭可支配收入的消费结构里私人交通的支出比重增大致使居民家庭私人交通碳排放量增加速度更快,故该影响因素的正向影响更强烈。第三,居民家庭可支配收入逐渐表现为不显著。

4 结论与讨论

本文通过K均值聚类法、空间相关性检验及构建SARAR模型方法来研究2007—2016年长三角地区城市居民家庭直接能耗碳排放的空间分布特征和影响因素,得出以下主要结论:

(1) 长三角地区居民家庭直接能耗碳排放量高的

城市与低的城市之间的差距逐年增大。城市居民家庭直接能耗碳排放量层次分布清晰。整体表明,除上海市外,以苏州市等为核心的地区中部偏东位置的居民家庭直接能耗碳排放量最高,其次是地区南部,最后是地区北部和西部。K均值聚类表明,随着时间的推移,居民家庭直接能耗碳排放城市类型呈多元化趋势,居民家庭私人交通碳排放增长趋势显著。

(2) 全局相关性分析显示,自2011年起,长三角地区居民家庭直接能耗碳排放空间相关性逐渐增强。居民家庭直接能耗碳排放的Moran's I指数整体上呈“N”字形。局部相关性分析表明,居民家庭直接能耗碳排放内部集聚特点清晰分明。首先,低高和高低的集聚状态的城市几乎不存在。其次,近几年高高状态的城市地理位置虽有向西部转移的趋势,但仍集中以无锡市和苏州市为核心的在偏中部地区。最后,低低状态的城市主要分布在西部方向且有向南北(主要是北部)方向扩张的趋势。

(3) 空间回归结果对比发现,户均人口数在前5年表现为正向影响(不显著),后5年转变成抑制影响因素。居民家庭可支配收入逐渐表现为不显著。户均车辆与每户拥有的城市道路面积的联合效应对居民家庭直接能耗碳排放的促进作用逐渐增强。

基于以上结论,得出以下政策启示:

(1) 各地区在制定碳减排政策的同时应加强并推进地区协同治理能力,鼓励各地区的政府推出联合的政策条例。苏州市和无锡市等居民家庭直接能耗碳排放量大的城市应重点推出相关条例,以期影响到周边城市节能降耗。

(2) 测算表明,私人交通碳排放已逐渐成为居民家庭直接碳排放的主导部分,故应鼓励居民出行时选择公共交通工具。可为节能型产品在生产销售等环节提供技术、税收优惠政策等支持,引导大众绿色消费。

参考文献

- [1] WU Y, CHAU K W, LU W S, et al. Decoupling relationship between economic output and carbon emission in the Chinese construction industry[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2018, 71: 60-69.
- [2] 赵艳, 谷悦, 孟海亮. 北京市大学生绿色消费行为特征研究[J]. 中国环境管理, 2016, 8(4): 92-95, 71-71.
- [3] STEEN - OLSEN K, WOOD R, HERTWICH E G. The carbon footprint of Norwegian household consumption 1999-2012[J]. Journal of industrial ecology, 2016, 20(3): 582-592.
- [4] 王会娟, 夏炎. 中国居民消费碳排放的影响因素及发展路径分析

- [J]. 中国管理科学, 2017, 25(8): 1-10.
- [5] LIU L N, QU J S, CLARKE-SATHER A, et al. Spatial variations and determinants of per capita household CO₂ emissions (PHCEs) in China[J]. Sustainability, 2017, 9(7): 1277-1277.
- [6] TIAN X, GENG Y, DONG H J, et al. Regional household carbon footprint in China: a case of Liaoning province[J]. Journal of cleaner production, 2016, 114: 401-411.
- [7] HUANG J Y, HE J F, XIE Z Q, et al. Study on factor decomposition of per capita carbon emissions from household energy consumption in Guangdong Province based on LMDI method[C]//2017 International Conference on Economic Development and Education Management (ICEDEM 2017). Atlantis Press, 2017.doi: 10.2991/icedem-17.2017.98.
- [8] 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.
- [9] WANG Y, YANG G C, DONG Y, et al. The scale, structure and influencing factors of total carbon emissions from households in 30 provinces of China—based on the extended STIRPAT model[J]. Energies, 2018, 11(5): 1125-1125.
- [10] 曾静静, 张志强, 曲建升, 等. 居民家庭碳排放计算方法分析评价 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(10): 1341-1352.
- [11] 荣月静, 张慧, 赵显富. 基于多因素综合评价法的长三角地区城市基础设施建设水平研究 [J]. 科技通报, 2016, 32(2): 104-110.
- [12] 张艳, 秦耀辰, 闫卫阳, 等. 我国城市居民直接能耗的碳排放类型及影响因素 [J]. 地理研究, 2012, 31(2): 345-356.
- [13] 刘红琴, 王高天, 陈品文, 等. 地区电力行业碳排放水平测算及其特点分析 [J]. 生态经济, 2018, 34(4): 34-39.
- [14] 赵敏, 张卫国, 俞立中. 上海市居民出行方式与城市交通 CO₂ 排放及减排对策 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(6): 747-752.
- [15] 檀华梅, 陈子敬, 邱荣祖, 等. 福州市机动车碳排放特征分析 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2018, 30(1): 55-59.
- [16] MACQUEEN J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations[C]//Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley, Calif: California Press, 1967: 281-297.
- [17] ANSELIN L. Local indicators of spatial association—LISA[J]. Geographical analysis, 1995, 27(2): 93-115.
- [18] ANSELIN L. Spatial Econometrics: Methods and Models[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013.
- [19] ANSELIN L. Model validation in spatial econometrics: a review and evaluation of alternative approaches[J]. International regional science review, 1988, 11(3): 279-316.
- [20] 胡振, 王玥, 张中华. 城市家庭碳排放的地域特征与变动规律——以日本 47 个城市为研究对象 [J]. 城市发展研究, 2018, 25(1): C23.
- [21] 杨上广, 王春兰, 刘淋. 上海家庭出行碳排放基本特征、空间模式及影响因素研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(6): 148-153.
- [22] BALTAGI B H, SONG S H, KOH W. Testing panel data regression models with spatial error correlation[J]. Journal of econometrics, 2003, 117(1): 123-150.
- [23] 胡振, 何晶晶, 王玥. 基于 IPAT-LMDI 扩展模型的日本家庭碳排放因素分析及启示 [J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1831-1842.
- [24] 陈占明, 吴施美, 马文博, 等. 中国地级以上城市二氧化碳排放的影响因素分析: 基于扩展的 STIRPAT 模型 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10): 45-54.

Spatial Characteristics and Impact Factors of City Resident Household Direct Carbon Emissions in the Yangtze River Delta

WANG Sufeng, ZHAO Jiaxin*

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Heifei 230601, China)

Abstract: At present, the research on carbon emissions is mainly based on the state and provinces, while the research on carbon emissions at the household level around the urban scale is relatively scarce. The family is the most basic component of society, and its carbon emission characteristics and impacts are urgent to be solved. Based on the data from 2007 to 2016 of 26 prefecture-level cities in the Yangtze River Delta, the household direct carbon emissions are calculated. With the methods of K-means clustering, spatial correlation tests and spatial panel model, this paper investigates the spatial distribution evolution characteristics of city household direct carbon emissions and its impact factors. The results show that: (1) Cities with high household direct carbon emissions are located to the east of the Yangtze River Delta, while cities with low emissions are concentrated in the west. Household direct carbon emissions of cities in the central region generally grow faster than those of other regions. (2) The average spatial correlation degree of the city household direct carbon emissions indicates an “N” shaped trend in the Yangtze River Delta. The areas in high-high agglomeration are concentrated in the central region with Suzhou as the core, and then the areas in low-low agglomeration are concentrated in the western fringe. (3) The comparison of the regression results of before with after five years shows that the population per household changes from insignificant positive factors to important inhibiting factors. The joint effect of private car per household and urban road area per household is more and more positive. The conclusions of the study can provide a theoretical basis for the city to dynamically formulate carbon emission reduction policies.

Keywords: household direct carbon emissions; spatial characteristics; impact factor; the Yangtze River Delta