

引用格式:史琴琴,鲁丰先,陈海,等. 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[J]. 资源科学, 2018, 40(6): 1297-1306. [Shi Q Q, Lu F X, Chen H, et al. Temporal-spatial patterns and factors affecting indirect carbon emissions from urban consumption in the Central Plains Economic Region[J]. *Resources Science*, 2018, 40(6): 1297-1306.] DOI :10.18402/resci.2018.06.19

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

史琴琴¹, 鲁丰先², 陈海¹, 张丽君², 武荣伟³, 梁小英¹

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127;

2. 河南大学环境与规划学院黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要:从消费视角研究城镇居民消费间接碳排放的历史增长、空间分异规律及影响因素,对发展低碳城市和居民合理消费方式的形成具有重要的意义。本文以中原经济区为例,运用投入产出法测算2002—2014年城镇居民消费间接碳排放,通过空间自相关和空间面板模型分析其空间关联特征及影响因素,得到以下结论:①2002—2014年,城镇居民消费间接碳排放呈波动上升的趋势,“衣、食、住”等生存型消费碳排放增长速度较快,“交通、教育娱乐、医疗保健”等发展型消费碳排放增长速度较慢;②从空间关联格局来看,城镇居民消费人均碳排放以HH区和LL区的空间正相关类型为主;③空间杜宾模型估计结果表明,居民收入水平、产业结构和消费结构是影响该区域城镇居民消费间接碳排放的主要因素,另外,消费结构和消费意识两个因素具有明显的空间溢出效应。

关键词:居民消费间接碳排放;时空格局;影响因素;STIRPAT模型;空间面板模型;中原经济区

DOI :10.18402/resci.2018.06.19

1 引言

居民消费碳排放的研究最早起始于20世纪70年代^[1]。目前,直接碳排放的研究已比较成熟,而隐含性较强的间接碳排放的研究中往往容易被忽略^[2]。已有研究表明,美国居民消费间接碳排放是直接碳排放的2倍^[3],英国与印度的居民消费间接碳排放持续增加^[4,5],中国无论从全国尺度还是单个省域或直辖市尺度,居民消费间接碳排放量都高于直接碳排放量且城镇高于农村^[6-10]。中国“十三五”规划指出要着力扩大居民消费,继续发挥消费对增长的基础作用,如何在提高居民生活水平,扩大居民消费的同时有效降低居民消费引致的间接碳排放成为政府和学者共同关注的焦点问题之一。

国内外学者针对居民消费间接碳排放的研究

集中于碳排放核算及影响因素分析。从碳排放核算方法来看,居民消费间接碳排放常用的有投入产出法和生命周期法,前者通过完全需求系数把生产部门和消费直接碳排放量之间的关系联系起来,成为当前的主流方法,后者由于需要极其详尽的从产品生产到回收利用整个生命周期的数据,应用受到限制^[11]。影响因素分析主要有分解法,其中结构分解基于投入产出模型从投入和产出角度分析居民消费各部分影响因素,指数分解基于Kaya恒等式进行分解,但都没有考虑区域之间可能存在的互相影响。

目前,居民消费间接碳排放的研究已关注到碳排放的区域差异性和空间依赖性^[12,13]。比较有代表性的如Wang等和刘莉娜等对中国省域居民消费间接碳排放及其影响因素的研究^[14,15]。虽然已有学者

收稿日期:2017-12-03 修订日期:2018-02-28

基金项目 国家自然科学基金项目(41671086;41271103;41671536)。

作者简介 史琴琴,女,山西临汾人,博士生,主要从事城市—区域综合发展研究。E-mail: shiqinqin_1314@126.com

通讯作者 陈海, E-mail: chw@nwu.edu.cn

注意到忽视空间依赖性会导致影响因素模型估计结果不准确^[16],但研究大多未考虑区域之间的互相影响和影响因素的空间溢出效应^[17,18]。空间面板模型适用的前提对居民消费碳排放进行空间自相关检验,可探测整个区域在空间上的集聚或分散程度,并揭示局部地区的空间变异^[19]。在进行影响因素分析时,空间杜宾模型的因变量中嵌套了空间依赖,估计结果不受遗漏变量的影响,还可以通过边际效应分解测度省辖市内部及各省辖市之间自变量的空间溢出效应^[20]。此外,分析省辖市尺度的居民消费间接碳排放的空间差异及影响因素,对于问题的刻画更为细致,所得结论能够在更小尺度上反映现实状态。

本文以处于城镇化、工业化加速推进阶段中的中原经济区为例,从经济区整体及其内部省辖市两个尺度,运用投入产出法测算该城镇居民消费间接碳排放量,通过空间自相关和空间杜宾模型分析其空间演变规律及影响因素,以期从消费层面发现碳减排的突破点,提高碳减排决策的针对性和可行性,为碳减排提供理论指导。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文以中原经济区 30 个省辖市为研究对象。居民消费分为食品、衣着、家庭设备用品及服务、医疗保健、交通和通信、教育文化娱乐服务、居住、杂项商品和服务八大类。投入产出数据主要来自 2002 年、2007 年、2012 年河南、山西、山东、河北和安徽省投入产出表^[21],2005 年和 2010 年河南省投入产出延长表^[22]。各省分行业能源消费量、居民八大类消费、城镇居民人均可支配收入、城镇人口和常住人口、单

位 GDP 能源消耗、第二产业产值、城镇居民恩格尔系数和居民平均受教育年限等数据来自 2003—2015 年各省统计年鉴、《中国城市统计年鉴》^[23]、《中国区域经济统计年鉴》^[24]及第五次和第六次全国人口普查资料,个别省辖市缺失数据由各市统计年鉴补充或者按照年均增长率推算。标煤 CO₂排放系数采用 2.493^[25]。

2.2 研究方法

2.2.1 居民消费间接碳排放核算方法

居民消费间接碳排放的计算利用投入产出法,计算公式为^[2,26,27]:

$$CF^e = F \times E = F \times D \times (I - A)^{-1} \tag{1}$$

式中 CF^e 为居民消费间接碳排放量(万 t); F 为居民生活消费金额,包括食品、衣着、家庭设备用品及服务、医疗保健、交通和通信、教育文化娱乐服务、居住、杂项商品和服务八大类(万元); E 为各部门的能源消费间接碳排放强度向量(t/万元); D 为各部门的能源消费直接碳排放强度(t/万元),为行业能源消费总量和标煤 CO₂排放系数的乘积与行业总产值的比值; A 为投入产出表直接消耗系数矩阵; I 为与 A 同阶的单位矩阵, $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。

数据处理时,首先参照相关文献划分八大类消费类别与所对应的行业部门^[27,28],如表 1 所示。其次根据各部门的能源消费直接碳排放强度与投入产出表计算间接碳排放强度,针对不同省份不同年份的分行业能源消费量统计不一致的问题,按照不同品种能源消费量乘以折算标煤系数并求和计算出能源消耗总量。不同品种能源折算标煤系数见表 2。计算可直接得出 2002 年、2005 年、2007 年、2010 年和 2012 年各部门间接碳排放强度,再假设投入产出

表 1 八大类消费类别对应的行业部门

Table 1 Corresponding of eight categories of consumption to the industry sector

消费类别	对应行业
食品	农、林、牧、渔业+食品制造及烟草加工业
衣着	纺织业+服装皮革羽绒及其他纤维制品制造业
家庭设备用品及服务	木材加工及家具制造业+金属制品业+电气机械及器材制造业
医疗保健	通用、专用设备制造业+化学工业
交通和通信	石油加工及炼焦业+交通运输设备制造业+电子及通信设备制造业+交通运输、仓储和邮政业
教育文化娱乐服务	造纸印刷及文教用品制造业+仪器仪表及文化办公用机械制造业
居住	煤炭开采和洗选业+石油和天然气开采业+非金属矿物制品业+电力及蒸汽热水生产和供应业+煤气生产和供应业+自来水的生产和供应业+建筑业
杂项商品和服务	批发和零售业、住宿和餐饮业+其他行业

2018年6月

表2 不同品种能源折算标准煤系数^[25]

Table 2 Coefficient of different varieties of energy conversion for coal

(kgec/kg, kgec/m³)

	原煤	型煤	焦炭	洗精煤	原油	汽油	煤油	柴油	天然气	焦炉 煤气	其它 煤气	炼厂 干气	其他石 油制品	其他焦 化产品	其它 洗煤
系数	0.714	0.600	0.971	0.900	1.429	1.471	1.471	1.457	1.330	0.571	0.179	1.571	1.200	1.300	0.286

表缺失年份与其前面最临近年份技术水平保持不变,变换每年各部门能源消费总量与总产值得到连续年份的间接碳排放强度^[6]。八大类消费类别对应的间接碳排放强度为各类所涉及部门的间接碳排放强度均值^[2]。

2.2.2 空间自相关

空间自相关包括全局自相关和局域自相关,前者用于分析区域总体的空间关联度及差异程度,而后者则能揭示要素的异质特性,分别以Moran's I和空间局域关联指标LISA作为二者的统计量,公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (X_i - \bar{x})(X_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K W_{ij}} \quad (2)$$

$$I^* = \sum_{p \neq q}^m W_{pq} Z_p Z_q$$

式中 I 为全局空间关联度统计量Moran's I; I^* 为局域关联指标LISA值; X_i, X_j 分别为 i, j 单元的观测值; \bar{x} 为样本均值; S^2 为样本方差; W_{ij} 为空间权重矩阵; Z_p, Z_q 分别表示 p, q 单元观测值的标准化值; W_{pq} 是空间权重矩阵的标准化形式。

2.2.3 STIRPAT 模型

Erlich等最早提出IPAT等式^[29],被广泛应用于分析人类活动对环境的影响,然而其中包含的人口、财富和技术因素三个变量十分有限,Dietz和Rosa等将IPAT等式改进为随机形式,即STIRPAT模型,此模型允许加入其他相关变量以更加全面地分析人类活动对环境的影响^[30]。在参考相关文献的基础上^[31-33],结合中原经济区快速城镇化、产业结构转型升级以及扩大居民消费需求以促进经济增长的背景,对模型进行扩展,构建如下模型:

$$\ln CE = a + b \ln A + c \ln P + d \ln T + f \ln IP + g \ln CS + h \ln CC + e \quad (3)$$

式中 CE 为某省辖市城镇居民消费人均间接碳排放量(t/人); A 为财富,以城镇居民人均可支配收入表示(元); P 为人口,以城镇人口与常住人口比值表示

(%); T 为技术水平,以单位GDP能源消耗表示(tec/万元); IP 为产业结构,以第二产业产值占国民生产总值比重表示(%); CS 为消费结构,以城镇居民恩格尔系数表示(%); CC 为消费意识,以居民平均受教育年限表示(年); e 表示误差项。

2.2.4 空间面板模型

空间面板模型包括空间误差模型(Spatial Error Model, SEM)、空间滞后模型(Spatial Lag Model, SLM)和空间杜宾模型(Spatial Durbin Model, SDM)。其中,SDM可以解决遗漏变量问题和测度区域内部及区域之间的空间溢出效应即城镇居民消费间接碳排放的直接效应和间接效应。设定省辖市单元为 $i=1, 2, \dots, 30$,时间序列 $t=1, 2, \dots, 13$, 2002—2014年共13年。中原经济区城镇居民消费间接碳排放与其影响因素关系的SDM模型如下^[20]:

$$y_{it} = \delta \sum_{j=1}^n w_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{jt} \gamma + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中 y_{it} 为 i 省辖市在 t 年的城镇居民消费间接碳排放量; w_{ij} 为 30×30 阶空间权重矩阵 W 中的元素,表示省辖市之间的邻近关系; y_{jt} 为 j 省辖市在 t 年的城镇居民消费间接碳排放量; x_{ijt} 为第 i 和第 j 个省辖市第 t 年的各影响因素; δ 为空间自回归系数; β 为相应解释变量的系数; γ 为空间滞后解释变量的系数; μ_i 为空间固定效应; λ_t 为时间固定效应; ε_{it} 为空间自相关误差项。

3 结果及分析

3.1 城镇居民消费间接碳排放时间演变分析

2002—2014年间,中原经济区城镇化进程对居民消费间接碳排放量的增长具有明显的推动作用。城镇人口数量从0.42亿人上升到0.72亿人,年均增长率为4.53%;城镇居民消费间接碳排放量由1.15亿t上升到1.90亿t,年均增长率为4.29%。从具体时间段来看,2002—2004年“非典”期间居民消费很大程度上受到抑制,该区城镇居民人均消费支出年均增长率仅为6.84%,居民消费间接碳排放量

年均下降4.70%;2004—2007年城镇居民消费间接碳排放处于快速上升阶段,年均增长率为9.47%;2007—2010年间经济增长受全球金融危机影响增速放缓,居民消费间接碳排放量年均增长率仅为2.71%;2010—2014年随着城镇人口的增长,居民消费间接碳排放总量增长有回升趋势,年均增长率为6.41%(图1)。

从城镇居民八大类消费碳排放所占比重变化趋势来看(图2),居住和食品消费是该区城镇居民间接碳排放的主要来源。从生存型消费来看,居民居住消费碳排放量虽然居高不下,但所占碳排放总量的比重不断降低,由2002年的29.01%下降到2014年的21.51%;衣着和食品消费碳排放增长较快且所占百分比也依然呈上升趋势,比重从2002年的16.94%和8.74%上升到2014年的20.02%和10.07%。从发展型消费来看,交通和通信、家庭设备用品和杂项商品及服务消费碳排放处于增长态势,所占百分比分别由2002年的11.94%、7.39%和

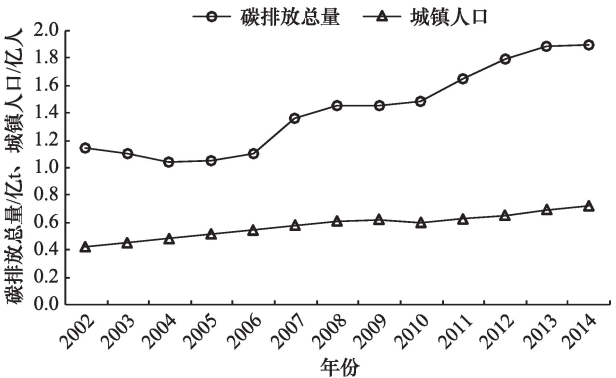


图1 2002—2014年中原经济区城镇居民消费间接碳排放量变化

Figure 1 Indirect carbon emissions trend of urban residential consumption in Central Plains Economic Region from 2002 to 2014

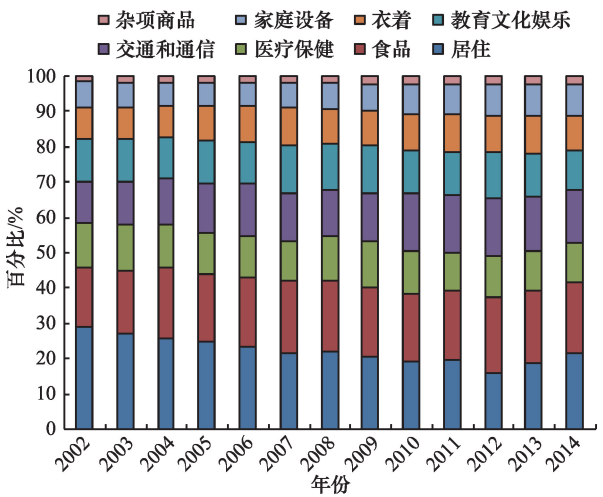


图2 2002—2014年中原经济区城镇居民八大类消费碳排放量百分比结构

Figure 2 Percentage structure of eight kinds of carbon emissions of urban residential consumption in Central Plains Economic Region from 2002 to 2014

1.42%上升到2014年的15.19%、8.91%和2.10%;教育娱乐和医疗保健消费碳排放由于中国医疗保障制度和义务教育实施将部分个人消费转化为政府消费,所占百分比呈下降趋势,分别由2002年的12.31%和12.26%下降到2014年的11.31%和10.88%,但其碳排放量依然处于上升态势。

3.2 城镇居民消费间接碳排放空间格局演化

为分析中原经济区城镇居民消费间接碳排放空间关联程度和差异程度,运用空间自相关分析方法分析其全局自相关和局域自相关的演变特征。

3.2.1 城镇居民消费间接碳排放全局空间差异的演化特征

根据GeoDa软件,选用空间邻接rook权重矩阵计算2002—2014年中原经济区城镇居民消费间接碳排放的全局自相关系数,结果如表3所示。

表3 2002—2014年中原经济区城镇居民消费间接碳排放全局自相关系数

Table 3 Global autocorrelation coefficient of indirect carbon emissions of urban residential consumption in Central Plains Economic Region from 2002 to 2014

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
碳排 放量	Moran's I	0.15	0.09	0.10	0.05	0.01	0.03	-0.02	-0.07	-0.07	-0.07	-0.09	-0.15
	z	1.97	1.20	1.30	0.82	0.45	0.59	0.15	-0.29	-0.35	-0.32	-0.55	-1.19
	p	0.04	0.13	0.11	0.20	0.31	0.27	0.41	0.41	0.37	0.40	0.31	0.10
人均 碳排 放量	Moran's I	0.20	0.18	0.19	0.21	0.22	0.22	0.20	0.19	0.19	0.24	0.22	0.23
	z	2.70	2.08	2.21	2.12	2.42	2.28	2.30	2.18	2.07	2.52	2.52	2.55
	p	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02

2018年6月

从表3可以看出,该区城镇居民消费间接碳排放Moran's I值波动较大,除2002年外,13年间 z 值均不在大于1.96或者小于-1.96的范围内,且都没有通过 $p=0.05$ 的显著性检验,说明城镇居民消费间接碳排放空间上呈现随机分布。而13年间城镇居民消费人均间接碳排放Moran's I在0.18~0.24之间,整体上呈波动上升趋势, z 值均大于1.96且都通过了 $p=0.05$ 的显著性检验,这表明城镇居民消费人均间接碳排放空间上存在空间集聚特征且集聚效应是增强的。这在一定程度上说明由于城市之间存在规模差异,直接使用城镇居民消费间接碳排放量进行分析不具有科学性,而人均间接碳排放量更具有横向可比性。

3.2.2 城镇居民消费间接碳排放局部空间差异的演化特征

为深入分析城镇居民消费人均间接碳排放空间集聚的具体区域特征及各个相邻省辖市之间的空间关联程度,根据LISA散点图将结果划分为HH、HL、LH、LL四类,其中HH(LL)集聚区表示区域自身与相邻区域城镇居民消费人均碳排放均较高(低),呈正的空间自相关。HL(LH)区表示区域自身城镇居民消费人均碳排放量高(低),相邻区域城镇居民消费人均碳排放量较低(高),呈负的空间自相关。结果见图3。

由图3可以看出,2002年以来该区城镇居民消费人均碳排放空间类型以正相关为主,HH区和LL区总量基本稳定但空间格局变化明显。另外,省与省之间的居民消费人均间接碳排放差异较大,省域内部各省辖市之间差异较小。具体空间格局为:

(1)HH区多为资源型城市,2002年人均间接碳排放量在(2.84~7.48)t/人之间,主要分布在冀南、晋东南、豫西地区,在研究区西北部形成一片集聚区;2014年人均间接碳排放量在(3.46~7.60)t/人之间,主要分布在晋东南和皖西北区,分别在研究区西北部和东部形成集聚区。

(2)HL区由2002年的郑州市变为2014年的郑州市和阜阳市。郑州市城镇居民人均消费支出2002年和2014年两年均在30个省辖市中排名第二,分别为5479元和20122元,人均间接碳排放分别为2.87 t/人和2.82 t/人,高于相邻的开封市、许昌市和平顶山市,出现空间极化现象。而安徽省5个省辖市碳排放强度年均仅下降5.21%,使得阜阳市至2014年人均碳排放高于相邻地区。

(3)LH区域主要与碳排放强度较高的长治市、晋城市、运城市、邯郸市、邢台市、淮北市和亳州市等资源型城市相邻,2002年主要分布在鲁西南、豫北、豫西,与HH区域基本保持平行分布在中原经济区西北部的次一级;2014年分布格局有所变化,主

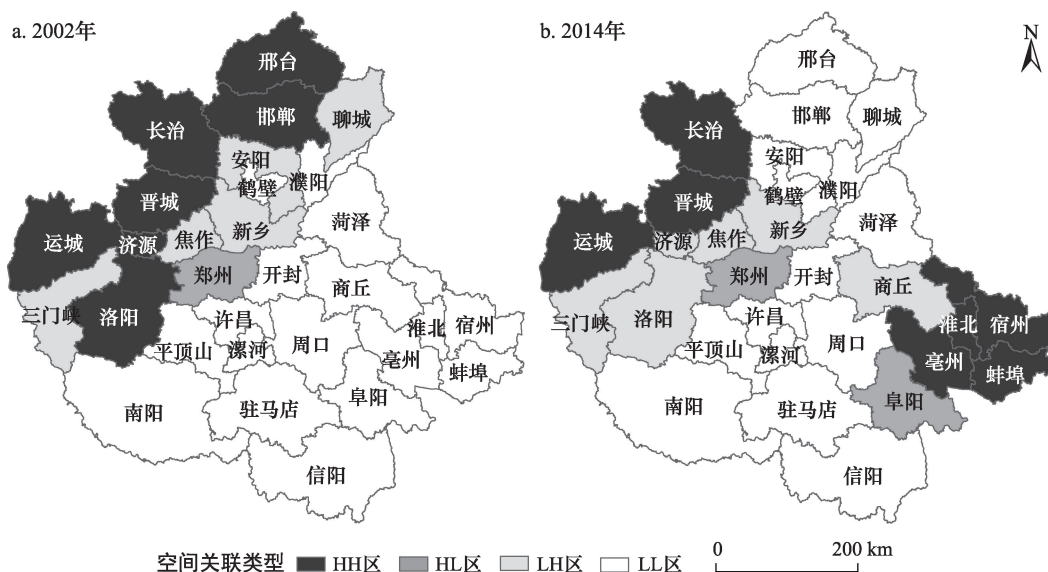


图3 2002年和2014年中原经济区城镇居民消费人均碳排放空间关联类型分布示意

Figure 3 Spatial correlation of per capita carbon emissions of urban residential consumption in Central Plains Economic Region in 2002 and 2014

要分布在豫北、豫西、豫东,依然与HH区域相邻分布在中原经济区东北部和西部的次一级。

(4)LL区占到该区省辖市总数的50%以上,空间上集中连片分布。2002年人均消费间接碳排放量在(2.15~1.54)t/人之间,主要由河南省55.6%的省辖市、山东省的菏泽市以及安徽省五个省辖市组成,在研究区东南部形成密集区;2014年人均消费间接碳排放量在(2.54~1.62)t/人之间,主要分布在冀南、鲁西南及河南省中南部,由北向南在研究区中部形成条带状。

3.3 城镇居民消费间接碳排放影响因素

空间自相关检验证明中原经济区各省辖市之间的城镇居民消费间接碳排放存在空间相关性,因此有必要使用考虑空间效应的空间计量模型进行估计。通过Wald检验发现,SDM可以转化为SLM(Wald检验:16.73, $P < 0.05$)和SEM(Wald检验:18.51, $P < 0.01$)的假设都不成立,hausman检验结果(-0.96)为负值,这有可能是样本较小所致,可以不拒绝原假设即接受随机效应模型的估计^[34]。因此,采用随机效应的空间杜宾模型进行分析。由于

SDM模型中纳入了空间滞后项的自变量,应使用偏微分来检验自变量对因变量的直接效应和边际效应。结果如表4。

由表4可知, A 、 IP 、 CS 等3个影响因子通过了1%的显著性水平检验,而 P 、 T 和 CC 未能通过显著性水平检验。据此可以认为,居民收入水平、产业结构和消费结构是影响中原经济区城镇居民消费间接碳排放的主要因素。

(1)居民收入水平的提高对中原经济区城镇居民消费间接碳排放具有显著地促进影响。城镇居民人均可支配收入的回归系数和直接效应均通过了1%的显著性水平检验,直接效应为0.528,与居民消费间接碳排放呈正相关关系。间接效应为0.044但未通过显著性水平检验,说明居民收入这一因素不具有空间溢出效应,这有可能是因为该区各省辖市之间人口流动性不强,人们更倾向于在本地消费,某省辖市居民收入水平的提高并不能对相邻省辖市碳排放产生影响。

(2)产业结构转型升级是减少中原经济区城镇居民消费间接碳排放的重要因素。第二产业产值

表4 SDM估计与边际效应的分解结果

Table 4 The estimated parameters results of SDM model and decomposition of marginal effects

变量	SDM		边际效应			
	弹性系数		直接效应		间接效应	
	系数值	t值	效应值	t值	效应值	t值
常数项	5.521***	4.350				
$\ln A$	0.528***	3.540	0.528***	3.780	0.044	0.160
$\ln P$	-0.002	-0.050	0.001	0.030	0.041	0.170
$\ln T$	-0.056	-0.870	-0.061	-1.020	-0.069	-0.490
$\ln IP$	0.233***	2.720	0.223***	2.740	-0.084	-0.400
$\ln CS$	-0.880***	-9.100	-0.947***	-9.720	-0.838***	-2.600
$\ln CC$	0.238	0.370	-0.230	-0.390	-5.397***	-2.830
$W\ln(A)$	-0.283	-1.570				
$W\ln(P)$	0.016	0.140				
$W\ln(T)$	0.005	0.060				
$W\ln(IP)$	-0.175	-1.460				
$W\ln(CS)$	0.132	0.810				
$W\ln(CC)$	-2.607**	-2.430				
ρ	0.580	12.930				
R^2	0.462					
Observations	390					

注: **、***分别表示通过5%、1%的显著性水平检验; $W(\ln A)$, $W(\ln P)$, $W(\ln T)$, $W(\ln IP)$, $W(\ln CS)$ 和 $W(\ln CC)$ 分别表示 $\ln A$, $\ln P$, $\ln T$, $\ln IP$, $\ln CS$ 和 $\ln CC$ 的空间滞后。

2018年6月

比重的回归系数和直接效应均通过了1%的显著性水平检验,直接效应为0.223,间接效应未通过显著性水平检验,说明产业结构调整不具有空间溢出效应。将各省13年间各部门碳排放强度求均值比较发现,山西省在食品制造及烟草、纺织业等多个部门碳排放强度均值为五省之首,而安徽省的煤炭开采和洗煤业、石油加工及炼焦等部门的碳排放强度均值为五省之首。因此,此类城市亟须优化产业结构,降低产业部门生产过程中的能源消耗,从而间接减少居民消费产生的碳排放。

(3)消费结构的逐渐优化会增强中原经济区居民消费间接碳排放。消费结构的回归系数、直接效应和间接效应分别为-0.880、-0.947和-0.838且都通过了1%的显著性水平检验。说明消费结构是影响该区居民消费间接碳排放的首要因素,本省辖市消费结构对相邻省辖市的空间溢出效应也最强。随着以“衣食住”为主的消费结构的改变,私家车、通讯工具等消费支出增加,未来居民消费间接碳排放依然有增长趋势。另外,相邻地区居民消费习惯的相似性和相互模仿的可能性等原因使得本省辖市居民消费结构对相邻省辖市居民消费碳排放也产生影响,因此省辖市之间应加强可持续消费观念方面的交流,实现区域居民消费碳减排的协同效应。

(4)消费意识对邻近省辖市城镇居民消费间接碳排放有明显的空间溢出效应。消费意识的回归系数和直接效应未通过显著性水平检验,而间接效应为-5.397并通过了1%的显著性水平检验。这说明现阶段消费意识的提升对降低本省辖市城镇居民消费间接碳排放作用不大,而对降低相邻省辖市居民消费间接碳排放有积极影响。该区居民平均受教育年限年均增长率为1.896%,随着居民消费意识的不断提升,人们在日常生活的各个方面都会融入低碳消费的观念,有意识的购买节能产品,进而促使企业生产节能环保产品,减少生产环节和消费环节产生的碳排放。因此,通过居民消费意识的提升减少居民消费间接碳排放有很大的潜力和空间。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文运用投入产出法测算中原经济区城镇居民消费间接碳排放,通过空间自相关方法分析时空

演变特征,并运用空间面板模型分析影响因素,得到以下结论:

(1)中原经济区城镇居民消费间接碳排放2002—2004年处于快速下降阶段,2004—2007年处于快速上升阶段,2007—2010年处于平稳上升阶段,2010—2014年增长趋势回升。消费结构方面,以食品和居住消费引致的碳排放占主导地位,“衣、食、住”等生存型消费碳排放增长速度较快,而“交通、教育娱乐、医疗保健”等发展型消费碳排放增长速度较慢。

(2)从空间关联格局来看,2002年以来中原经济区城镇居民消费人均碳排放空间类型以HH区和LL区的空间正相关类型为主。其中,HH集聚区多为资源型城市,2002年主要分布在中原经济区西北部;2014年主要分布在西北部 and 东部。LL区域数量最多占到该区省辖市总数的50%以上,2002年在东南部形成一个密集区,2014年由北向南在中部形成条带状区域。

(3)SDM模型估计结果表明,消费结构是影响中原经济区城镇居民消费间接碳排放的首要因素,对相邻省辖市的空间溢出效应也最强,居民对发展型消费需求的增加将会带来更高的碳排放。居民收入水平是第二影响因素,与城镇居民消费间接碳排放呈正相关关系但不具有空间溢出效应。产业结构转型升级有助于降低城镇居民消费间接碳排放,但不具有空间溢出效应。消费意识对邻近省辖市城镇居民消费间接碳排放有明显的空间溢出效应。

4.2 讨论

当前中原经济区正处于快速城镇化和工业化阶段,未来相当长时期内居民生活水平和消费需求仍需不断提高,对消费产生的间接碳排放量具有一定的刚性要求。虽然城镇居民收入水平的提高是促进居民消费间接碳排放增长的主要原因之一,但不能以控制收入来达到碳减排的目的。从其他影响因素来看,实现碳减排目标需要政府、企业和消费者的共同努力,如政府应加大力度支持资源型城市产业转型、营造良好的消费环境,大力发展科学文化教育事业;企业应加强科技创新提高各部门能源利用效率,从源头探寻居民消费碳减排的新空

间;消费者应树立可持续消费理念,养成低碳消费习惯。总之,社会生产最终服务于消费,低碳消费又需要从培养低碳消费者开始,通过消费者的行动和理念等消费模式的低碳化潜移默化地改变企业产品和服务的供给,倒逼产业部门能源消耗方式的转变,引领低碳生产,从而形成全民低碳的社会风气。

居民消费意识、消费偏好的定量衡量由于主观性较强,还需通过问卷调查或深度访谈等方式获取第一手资料,才能更准确的从居民消费模式的角度剖析居民消费间接碳排放的影响因素,这是今后的研究中需要关注的方面。

参考文献(References):

- [1] Bullard C W, Herendeen R A. The energy cost of goods and services[J]. *Energy Policy*, 1975, 3(4): 268-278.
- [2] 董会娟,耿涌. 基于投入产出分析的北京市居民消费碳足迹研究[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 494-501. [Dong H J, Geng Y. Study on carbon footprint of the household consumption in Beijing based on input-output analysis[J]. *Resources Science*, 2012, 34(3): 494-501.]
- [3] Bin S, Dowlatabadi H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions [J]. *Energy Policy*, 2005, 33(2): 197-208.
- [4] Baiocchi G, Minx J. The impact of social factors and consumer behavior on carbon dioxide emissions in the United Kingdom[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(1): 50-72.
- [5] Pachauri S, Spreng D. Direct and indirect energy requirements of households in India [J]. *Energy Policy*, 2002, 30(6): 511-523.
- [6] 杜威,樊胜岳. 城镇化进程中居民生活碳排放动态特征分析[J]. 生态经济, 2016, 32(5): 48-52. [Du W, Fan S Y. Dynamic analysis of carbon emissions for urban and rural residents in the process of urbanization[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(5): 48-52.]
- [7] 冯玲,齐涛,赵千钧. 城镇居民生活能耗与碳排放动态特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(5): 93-100. [Feng L, Lin T, Zhao Q J. Analysis of the dynamic characteristics of urban household energy use and carbon emissions in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(5): 93-100.]
- [8] 张艳芳,张宏运. 陕西省居民消费碳排放测算与分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 98-105. [Zhang Y F, Zhang H Y. Calculation and analysis on carbon emission of residents' consumption in Shaanxi Province[J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2016, 44(2): 98-105.]
- [9] 史建军,张彩虹. 居民消费碳排放研究—以河南省为例[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(6): 25-30. [Shi J J, Zhang C H. On carbon emissions of residents consumption—a case of Henan Province [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(6): 25-30.]
- [10] 吴开亚,郭旭,王文秀. 上海市居民消费碳排放的实证分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(5): 535-543. [Wu K Y, Guo X, Wang W X. Empirical analysis on carbon emissions of residents consumption in Shanghai[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(5): 535-543.]
- [11] 曾静静,张志强,曲建升,等. 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. [Zeng J J, Zhang Z Q, Qv J S, et al. Analysis and evaluation of methods for household carbon emissions calculation[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(10): 1341-1352.]
- [12] 申俊,孙涵,成金华. 中国城镇居民完全能源消费的空间计量分析[J]. 资源科学, 2016, 38(3): 439-449. [Shen J, Sun H, Cheng J H. Spatial econometric analysis of the total energy consumption of urban residents in China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(3): 439-449.]
- [13] 李艳梅,张红丽. 城市化对家庭CO₂排放影响的区域差异[J]. 资源科学, 2016, 38(3): 545-556. [Li Y M, Zhang H L. Regional differences in the impact of urbanization on household carbon dioxide emissions based on panel data for 30 provinces in China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(3): 545-556.]
- [14] Wang S J, Fang C L, Ma H T, et al. Spatial differences and multi-mechanism of carbon footprint based on GWR model in provincial China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(4): 612-630.
- [15] 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. [Liu L N, Qu J S, Huang Y S, et al. Analyze on the spatial-temporal pattern and influence factors of China's per capita household carbon emission[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(8): 1364-1377.]
- [16] 申俊,孙涵,成金华. 中国城镇居民能源消费及其影响因素[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(1): 45-53. [Shen J, Sun H, Cheng J H. Energy consumption and influence factors of urban residents in China[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2016, 18(1): 45-53.]
- [17] 刘晔,刘丹,张林秀. 中国省域城镇居民碳排放驱动因素分析[J]. 地理科学, 2016, 36(5): 691-696. [Liu Y, Liu D, Zhang L X. Driving factors analysis of carbon emissions in Chinese provincial urban households. [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(5): 691-696.]
- [18] Wang S J, Fang C L, Wang Y. Spatiotemporal variations of energy-related CO₂ emissions in China and its influencing factors: an empirical analysis based on provincial panel data[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 505-515.
- [19] 万文玉,赵雪雁,王伟军. 中国城市居民生活能源碳排放的时空

2018年6月

- 格局及影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2016, 36(9): 3445–3455. [Wan W Y, Zhao X Y, Wang W J. Spatial-temporal patterns and impact factors analysis on carbon emissions from energy consumption of urban residents in China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(9): 3445–3455.]
- [20] 程叶青, 王哲野, 马靖. 中国区域创新的时空动态分析[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1779–1789. [Cheng Y Q, Wang Z Y, Ma J. Analyzing the space-time dynamics of innovation in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(12): 1779–1789.]
- [21] 国家统计局. 中国地区投入产出表 2002, 2007, 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008, 2011, 2016. [National Bureau of Statistics. Chinese Regional Input-Output Tables of 2002, 2007, 2012 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008, 2011, 2016.]
- [22] 河南省统计局. 河南统计年鉴 2007, 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007, 2012. [Henan Province Bureau of Statistics. Henan Statistical Yearbook of 2007, 2012[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007, 2012.]
- [23] 国家统计局. 中国城市统计年鉴 2003–2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003–2015. [National Bureau of Statistics. China City Statistical Yearbook 2003–2015[M]. Beijing: China Statistics Press, 2003–2015.]
- [24] 国家统计局. 中国区域经济统计年鉴 2003–2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003–2015. [National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook for Regional Economy 2003–2015[M]. Beijing: China Statistics Press, 2003–2015.]
- [25] 张丽君. 城市碳基能源代谢结构分异与演变机理[D]. 开封: 河南大学, 2013. [Zhang L J. Structure Differentiation and Evolution Mechanism of Urban Carbon-Based Energy Metabolism[D]. Kaifeng: Henan University, 2013.]
- [26] 马晓微, 叶奕, 杜佳, 等. 基于投入产出中美居民生活消费间接碳排放研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(1): 24–29. [Ma X W, Ye Y, Du J, *et al.* Calculation and analysis on indirect carbon emissions from household consumption between China and the United States based on input-output model[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology(Social Science edition)*, 2016, 18(1): 24–29.]
- [27] 朱勤, 彭希哲, 吴开亚. 基于投入产出模型的居民消费品载能碳排放测算与分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2018–2029. [Zhu Q, Peng X Z, Wu K Y. Calculation and analysis on indirect carbon emissions from residential consumption based on Input-Output model[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(12): 2018–2029.]
- [28] 范玲, 汪东. 我国居民间接能源消费碳排放的测算及分解分析[J]. 生态经济, 2014, 30(7): 28–32. [Fan L, Wang D. Calculation and decomposition analysis on carbon emissions of indirect residents' consumption in China[J]. *Ecological Economy*, 2014, 30(7): 28–32.]
- [29] Ehrlich P R, Holdren J P. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212–1217.
- [30] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. *Human Ecology Review*, 1994, 2(1): 277–300.
- [31] 张腾飞, 杨俊, 盛鹏飞. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 47–57. [Zhang T F, Yang J, Sheng P F. The impacts and channels of urbanization on carbon dioxide emissions in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(2): 47–57.]
- [32] 田成诗, 郝艳, 李文静, 等. 中国人口年龄结构对碳排放的影响[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2309–2318. [Tian C S, Hao Y, Li W J, *et al.* Population age structure effects on carbon emission in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2309–2318.]
- [33] 黄蕊, 王铮, 丁冠群, 等. 基于STIRPAT模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 地理研究, 2016, 35(4): 781–789. [Huang R, Wang Z, Ding G Q, *et al.* Trend prediction and analysis of influencing factors of carbon emissions from energy consumption in Jiangsu Province based on STIRPAT model[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 781–789.]
- [34] 金煜, 陈钊, 陆铭. 中国的地区工业集聚: 经济地理、新经济地理与经济政策[J]. 经济研究, 2006, (4): 79–89. [Jin Y, Chen Z, Lu M. Industry agglomeration in China economic geography, new economic geography and policy[J]. *Economic Research Journal*, 2006, (4): 79–89.]

Temporal-spatial patterns and factors affecting indirect carbon emissions from urban consumption in the Central Plains Economic Region

SHI Qinqin¹, LU Fengxian², CHEN Hai¹, ZHANG Lijun², WU Rongwei³, LIANG Xiaoying¹

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle & Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China;

3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: The Central Plains Economic Region is undergoing rapid urbanization and industrialization. Living standards and the consumption demands of residents will need to be improved for some time, but indirect carbon emissions from consumption have rigid requirements. From the perspective of consumption, little research has explored historical growth, spatial heterogeneity and factors affecting indirect carbon emissions from urban residential consumption. Understanding these patterns is significant to the development of low carbon cities and formation of reasonable consumption patterns. Here, we calculated the indirect carbon emissions of urban residential consumption in the Central Plains Economic Region using an input-output model, spatial self-correlation and spatial panel modeling. We found that indirect carbon emissions increased from 2002 to 2014. From the consumption structure, the carbon emissions from survival consumption (clothing, food and living) grew faster; development consumption (traffic, education, entertainment and healthcare) grew slower. From spatial association patterns, the spatial correlation type of per capita carbon emissions from urban residential consumption is mainly composed of HH and LL from 2002 to 2014. Spatial Durbin model estimation results show that income level, consumption structure, industrial structure and consumption consciousness are the main influencers of indirect residential carbon emissions. Factors such as consumption consciousness and consumption structure have spatial spillover effects.

Key words: indirect carbon emissions; temporal-spatial patterns; influence factors; STIRPAT Model; Spatial Panel Model; Central Plains Economic Region