

DOI: 10.5846/stxb201812242794

崔盼盼, 赵媛, 张丽君, 夏四友, 许昕. 基于不同需求层次的中国城镇居民消费隐含碳排放时空演变机制. 生态学报, 2020, 40(4): 1424-1435.

Cui P P, Zhao Y, Zhang L J, Xia S Y, Xu X. Spatio-temporal evolution and driving mechanism of per capita indirect carbon emissions based on different demand levels from urban residents' consumption in China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(4): 1424-1435.

基于不同需求层次的中国城镇居民消费隐含碳排放时空演变机制

崔盼盼^{1,4}, 赵媛^{1,2,4,*}, 张丽君³, 夏四友^{1,4}, 许昕^{1,4}

1 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023

2 南京师范大学金陵女子学院, 南京 210097

3 河南大学环境与规划学院, 开封 475004

4 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

摘要:正确认识不同需求水平下人均隐含碳排放量的变化,对实现低碳经济及低碳生活具有重要的参考价值。基于居民消费需求层次建立不同需求层次与隐含碳排放的对应关系,将人均隐含碳排放分解为生存型、发展型、奢侈型三类,并运用投入产出法进行核算,在对不同需求层次人均隐含碳排放的空间格局演变分析的基础上采用空间面板方法对其驱动机制进行甄别。结果显示,在全国层面,各需求层次人均隐含碳排放均呈现上升趋势,空间分布不均衡性主要体现在南北差异上,北部地区始终是各需求层次人均隐含碳排放的主要空间载体,其中多数省分生存型人均隐含碳排放上升势头较强,发展型和奢侈型的高值区在省份数量上分别呈现先减后增与逐渐增加的变化趋势;不同需求层次人均隐含碳排放水平相似的地区在空间上呈集聚分布,具有较强的“马太效应”;空间面板模型结果显示技术减排是降低不同需求层次人均隐含碳排放的重要举措,而人口规模在各需求层次上的负向减排作用远小于正向的人口结构效应,宏观经济因素主要表现为增排效应,而居民消费因素的作用通道存在差异。此外,部分因素在各需求层次上存在显著空间外溢效应,应重视区域间的横向联动减排效应,做好隐含碳减排的统筹协调工作。

关键词:人均隐含碳排放;需求层次;空间面板模型;中国

Spatio-temporal evolution and driving mechanism of per capita indirect carbon emissions based on different demand levels from urban residents' consumption in China

CUI Panpan^{1,4}, ZHAO Yuan^{1,2,4,*}, ZHANG Lijun³, XIA Siyou^{1,4}, XU Xin^{1,4}

1 School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

2 Jinling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

3 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China

4 Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: There is an important reference value for realization of low carbon economy and low carbon life to understand the change of per capita indirect carbon emissions based on different demand levels. Based on the demand-level of residents' consumption, this paper established the corresponding relationship between different demand levels of per capita indirect carbon emissions. We decomposed per capita indirect carbon emissions into three types including survival type,

基金项目:国家自然科学基金项目(41971248, 41571513);国家自然科学基金重点项目(41430635);国家社会科学基金项目(18BRK031)

收稿日期:2018-12-24; **网络出版日期:**2019-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoyuan@njnu.edu.cn

developmental type and luxurious type, and estimated them by the input output method. The temporal and spatial evolution of per capita indirect carbon emissions in different demand levels were studied and the driving mechanisms were identified by the spatial panel method. The corresponding emission reduction measures were also proposed. The results indicate that (1) at the national level, there is an upward trend in per capita indirect carbon emissions in different demand levels. The spatial imbalance is mainly reflected in the difference between the north and the south. The northern region is always the main spatial carrier of them. In most provinces, per capita indirect carbon emissions of the survival type have a strong upward momentum. The high value areas of developmental type and luxurious type have a trend of decreasing first, then increasing, and increasing gradually in the number of provinces separately. (2) The global Moran's I shows that there is a significant spatial autocorrelation of the per capita indirect carbon emissions in different demand levels in 30 provinces of China. There is a strong "Matthew effect". (3) The results of spatial panel regression show that the technological progress is a key factor to achieve indirect carbon emissions' reduction. The negative emission reduction effect of population size of each demand level is much less than that of the positive structure effect. Macroeconomic factors have increasing emission effects, and the influence of consumption factors is different. In addition, some factors have significant spatial spillover effects on each level of demand. Therefore, we should pay attention to the effect of linkage emission reduction between regions, and do a good job of coordination in indirect carbon emission reduction.

Key Words: per capita indirect carbon emissions; demand-level; spatial panel model; China

碳减排是缓解全球气候变暖的主要措施,而生活质量的改善使居民碳排放成为新的增长点,对体现生活质量的各需求层次居民碳排放的研究不仅能反映出居民生活水平的高低,也能反映其对有限排放空间的占有程度,因此引起了学者的关注。如潘家华等^[1]区分了生存水平和体面生活水平的基本需要,对两种基本需要进行了量化界定,并核算了中国满足体面生活水平需要的能源消耗和碳排放;樊杰等^[2]对生存型、发展型和奢侈型消费相应的碳排放进行了核算,并倡导进一步对三种碳排放的阈值进行评估;刘莉娜等^[3]将居民生活碳排放分为基本碳排放和发展碳排放两部分;王琴等^[4]、刘荣霞等^[5]均对生存碳排放进行了评价。以上研究均关注到了不同需求层次碳排放及其减排责任的差异性,为碳减排提供了新思路。

随着生产领域减排空间逐渐收窄以及人口城镇化质量水平逐步提高^[6],现代生活方式引发的居民消费隐含碳排放远高于直接碳排放,且呈增加趋势,具有巨大的减排潜力^[7]。居民消费隐含碳排放的概念来源于隐含能源需求^[8],指居民消费的商品和服务在整个生命周期中产生的碳排放,包括生产、最终分解等过程中产生的碳排放^[9]。学者从不同研究尺度、视角对居民消费隐含碳排放形成过程与机理进行了分析,如对日本^[10]、希腊^[11]、美国^[12]等居民隐含碳排放的研究,对中国城乡隐含碳排放^[13-14],不同区域^[15-16]、不同省份^[17-19]以及市域尺度^[20-21]隐含碳排放的研究。从研究内容上看,主要集中在以下3点:①消费品生命周期法^[22-23]、消费者生活方式方法^[24-25]、投入产出方法^[3,9,17,26]是隐含碳排放测算的主要方法,其中投入产出方法应用更为广泛;②在核算隐含碳排放的基础上,对隐含碳排放特征进行研究,主要包括对隐含碳排放数量、结构及趋势特征的研究^[27-28]、比较不同系统^[8,29]、不同收入水平下隐含碳排放的变化^[17,24,30]、探讨城镇化与隐含碳排放的关系等^[18,31];③运用多元逐步回归^[10]、分位数回归与 Shapley 值分解法^[32]、STIRPAT 模型^[33]、空间面板模型^[21]、指数分解^[34-36]、结构分解方法^[15,23,37]等方法研究家庭及社会属性对隐含碳排放的影响。

以上研究为探索居民消费隐含碳排放提供了一定的支撑,但未将隐含碳排放落实到不同消费需求层次上。鉴于此,本文对不同需求层次人均隐含碳排放进行界定,并对其时空演变及其驱动机制进行分析,对满足人的基本需要的同时实现碳减排目标具有重要启示,对深入研究居民生活方式转变对碳排放的影响、实现从“弱可持续消费”到“强可持续消费”的转变具有重要意义,从而促进人类、自然与社会的可持续发展。

1 概念、数据与方法

1.1 不同需求层次隐含碳排放概念

城镇居民生活方式的变化体现在消费层次的变化上。恩格斯根据消费目的的差异对消费资料的概括抓住了社会需求逐层递升的本质,将消费资料分为生存资料、发展资料、享受资料,因此本文将与之相对应的城镇居民消费隐含碳排放划分为三类(图 1):

(1)生存型隐含碳排放。即为维持生存、延续生命所必须的物质和劳务消费,是满足较低层次需要的消费,主要包括衣食住三类,由其引发的隐含碳排放即为生存型隐含碳排放。

(2)发展型隐含碳排放。是人们为了寻求更好、更高的发展而产生的消费需求,主要包括文教娱乐用品及服务、交通通讯、医疗保健消费,最典型的是教育消费和健康消费,由其引发的隐含碳排放即为发展型隐含碳排放。

(3)奢侈型隐含碳排放。即对享受资料的消费,指人们为进一步丰富物质生活和精神生活的消费,主要包括其他商品及服务、家庭设备用品及服务消费,由其引发的隐含碳排放即为奢侈型隐含碳排放。

1.2 数据来源及变量选取

本文采用包含时序和截面二维信息的面板数据,范围为 2002—2012 年中国 30 个省区(除港澳台、西藏外)。其中,能源数据及居民人均消费数据来自 2003—2013 年各省统计年鉴,投入产出数据来自 2002 年、2007 年、2012 年《中国地区投入产出表》;影响因素数据来自 2003—2013 年各省统计年鉴、《中国统计年鉴》、《中国人口统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及《新中国 60 年统计资料汇编》。

为了衡量人类活动对环境的输入性影响或压力,Erlich 等^[38]将人口、财富、技术与环境压力纳入到数学模型中,提出经典的 IPAT 模型,也称环境压力控制模型,其公式为 $I = PAT$,其中 I 为环境压力, P 为人口数量, A 为富裕度, T 为支持富裕水平的特定技术。为了更加全面的分析人类活动对经济的影响,Dietz 和 Rosa 等^[39]将 IPAT 拓展为随机模式,即 STIRPAT 模型,该模型可以选取不同的表征人口、经济、技术三方面的指标进行验证。在 IPAT 理论的分析框架与相关文献的基础上从财富、人口、技术三个方面选取不同需求层次人均隐含碳排放的影响因素。其中,财富因素以宏观经济发展因素即产业结构(STR)、国内生产总值(GDP)和居民消费因素即人均可支配收入(DI)、恩格尔系数(Engel)表征,人口因素以城镇化率(UR)、城镇人口规模(P)表征,技术因素以能源强度(EI)表征。具体如下:

(1)产业结构(STR)。多数学者研究表明产业结构的调整与优化对居民隐含碳排放有重要的影响,通常采用第二产业的比重或第三产值的比重表示。如史琴琴等^[21]采用第二产业的比重表示产业结构,并认为产业结构转型升级是减少居民消费隐含碳排放的重要因素;Wang 等^[13]发现第二产业和第三产业的比值对城镇居民隐含碳排放的回归系数均为正;刘晓红等^[40]认为第三产业比重的提高会减少隐含碳排放。由于数据的可得性,本文中产业结构用城镇单位第三产业就业人员的劳动报酬占城镇单位就业人员总劳动报酬的比值表示。

(2)经济发展水平(GDP):刘晓红等^[40]研究发现经济发展水平的弹性系数为负值,即我国经济的发展会降低居民消费隐含碳排放量;杜威^[41]发现经济水平因素随时间增长显著上升,反映出经济水平的发展是城镇居民生活隐含碳排放的主导因素。由于省域城镇地区的经济数据获取较难,参考相关文献的处理方法^[42],将各省第二、三产业增加值用地地区生产总值指数换算成 2002 年价格后相加得到的 GDP 代替。

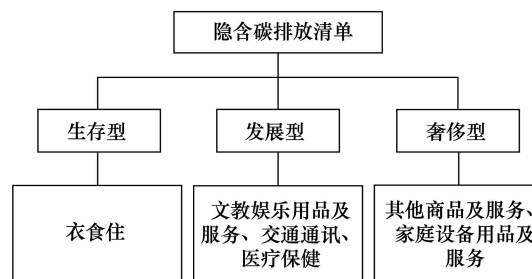


图 1 中国省域城镇居民不同需求层次隐含碳排放清单框架

Fig. 1 The indirect carbon inventory framework for different levels of demand of urban residents in China

(3) 人均可支配收入(DI):人均可支配收入的高低可用来度量居民日常消费能力的强弱。Wang 等^[13]发现人均可支配收入对城镇居民隐含碳排放的影响为正但较小;史琴琴等^[21]发现人均可支配收入的提高可以显著地促进城镇居民隐含碳排放的增加。本文采取各省的物价指数将人均可支配收入换算为 2002 年的价格。

(4) 恩格尔系数($Engel$):恩格尔系数可用来表征居民的消费结构。Wang 等^[13]、史琴琴等^[21]均发现恩格尔系数的降低会引起中国城镇居民隐含碳排放的增加。

(5) 城镇化率(UR)。城镇化率可用来表征人口的城乡分布结构情况。杜威^[41]发现城镇化的发展对城镇居民生活隐含碳减排有明显的推动作用,而 Yuan 等^[15]、姚亮等^[37]、范玲等^[43]发现城市化水平提高是推动居民消费隐含碳排放增长的主要正向力量。

(6) 城镇人口规模(P):多数学者研究发现人口规模的增大会拉动隐含碳排放的增加,但其规律存在差异。Zhu 等^[26]、丰霞等^[35]研究发现人口增加对隐含碳排放的增长具有较小的拉动作用;王会娟等^[44]发现人口规模的正向效应具有逐年减少的趋势;范玲等^[43]发现人口规模的扩大对居民隐含碳排放的影响呈现先增大后减小的变化趋势。

(7) 能源强度(EI):能源强度为能源消费量与经济的比值,常用来表示技术的发展水平。Wang 等^[13]、Zhu 等^[26]发现能源强度的降低能够有效降低城镇居民隐含碳排放。

1.3 研究方法

1.3.1 投入产出法

$$E_j = D_j \times (I - A_{ij})^{-1} \quad (1)$$

$$C_k = E_k \times F_k \quad (2)$$

式中, E_j 、 D_j 分别为投入产出表中 j 部门的隐含碳排放强度($t/\text{元}$)和直接碳排放强度($t/\text{元}$), $(I-A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵,其中 A_{ij} 为直接能源消耗系数矩阵, I 为与 A 同阶的单位矩阵。式(2)中, C_k 为城镇居民 k 消费类型人均隐含碳排放(t), $k=1,2,3,\dots,8$, E_k 为式(1)中 E_j 城镇居民八大消费类型与投入产出表中相关产业部门关联归并得到的 k 消费类型的隐含碳排放强度($t/\text{元}$),二者的对应关系及具体步骤参考相关文献^[39], F_k 为城镇居民人均 k 消费类型的消费金额(元)。

根据前文对需求层次概念的界定,将属于同一需求层次消费类型的人均隐含碳排放相加即得到该需求层次的人均隐含碳排放。由于投入产出表只在逢 2、7 年份编制,最新数据为 2012 年,因此本文以 2002 年、2007 年、2012 年投入产出表为基础,计算各省份城镇居民消费隐含碳排放,为了得到连续年份的各需求层次上人均隐含碳排放,假设隐含碳排放强度 3 年或几年内不变^[31,45],根据就近原则,对其他年份各需求层次人均隐含碳排放进行插补。

1.3.2 空间自相关

采用全局 Moran's I 对不同需求层次上的人均隐含碳排放进行全局空间自相关性分析。

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

式中 I 为全局莫兰指数, n 为研究单元数, y_i 和 y_j 分别为 i 省和 j 省不同需求层次人均隐含碳排放, $\bar{y}$ 为所有省区不同需求层次人均隐含碳排放的平均值, W_{ij} 为设置的空间权重矩阵。空间权重可依据地理空间、社会经济两种关系来构建,依据社会经济关系构建的空间权重矩阵具有产生多重共线性的风险,在依据地理空间关系构建的权重类型中,由于各省面积、经济、人口等差别较大,Distance 和 K -nearest 权重构建矩阵准则缺乏适用性,因此选择 Contiguity 准则构建空间权重矩阵更适合,本文选取简单的二进制邻接 Rook 矩阵。

1.3.3 空间面板模型

空间面板模型包括空间滞后模型(Spatial Lag Model,简称 SLM)、空间误差模型(Spatial Error Model,简称

SEM)以及空间杜宾模型(Spatial Durbin Model,简称SDM)。SLM和SEM是SDM的特殊形式。SDM同时考虑了被解释变量与解释变量的空间滞后相关性,是SLM和SEM的组合扩展形式。

$$y_{it} = \delta \sum_{j=1}^n w_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{jt} \gamma + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} \sim i.i.d(0, \delta^2) \quad (4)$$

式中, y_{it} 和 y_{jt} 分别表示 i 省和 j 省在 t 年的各需求层次人均隐含碳排放; x_{it} 表示第 i 个省区第 t 年的影响因素; w_{ij} 是空间权重矩阵 W 中的元素; δ 是空间自回归系数; β 表示解释变量的系数; γ 表示空间滞后解释变量的系数; ε_{it} 为误差项。

2 结果分析

2.1 不同需求层次人均隐含碳排放空间格局演变

本文采用四分位数分别将3个年份各省区不同需求层次人均隐含碳排放量划分为四等份,为了使不同年份的数据具有可比性,选取3个年份每种类型人均隐含碳排放的四分位数作为等级划分依据进行时空演变分析。需要指出的是,在下文分析中东西南北地区的确定是根据秦岭淮河一线来划分南北、根据人口分界线(胡焕庸线)来划分东西,碳排放水平高低的划分主要是根据四分位数的分类,将介于各需求层次人均隐含碳排放量最低区间的省区归为低值区,将介于各需求层次人均隐含碳排放量最高区间的省区归为高值区。文中最小的隐含碳排放区间为第四梯队,最大的碳排放区间为第一梯队,其余的依次为第二、三梯队。

2.1.1 生存型人均隐含碳排放

生存型人均隐含碳排放水平较高且呈上升趋势,空间差异在缩小(图2)。

①生存型人均隐含碳排放量逐渐增加。2002年、2007年、2012年生存型人均隐含碳排放平均值分别为1.51t、1.72t、1.78t,年均增长率达到1.68%。这可能是由于国民经济与社会的发展促使了生存型人均消费水平的提高。

②生存型人均隐含碳排放空间分布不均,北高南低。2002年排放量低的省区主要集中在东部地区,而北部地区的排放量较高;2007年高碳排放区呈分散特征,但仍主要分布于北部地区,东部地区也有所增加;

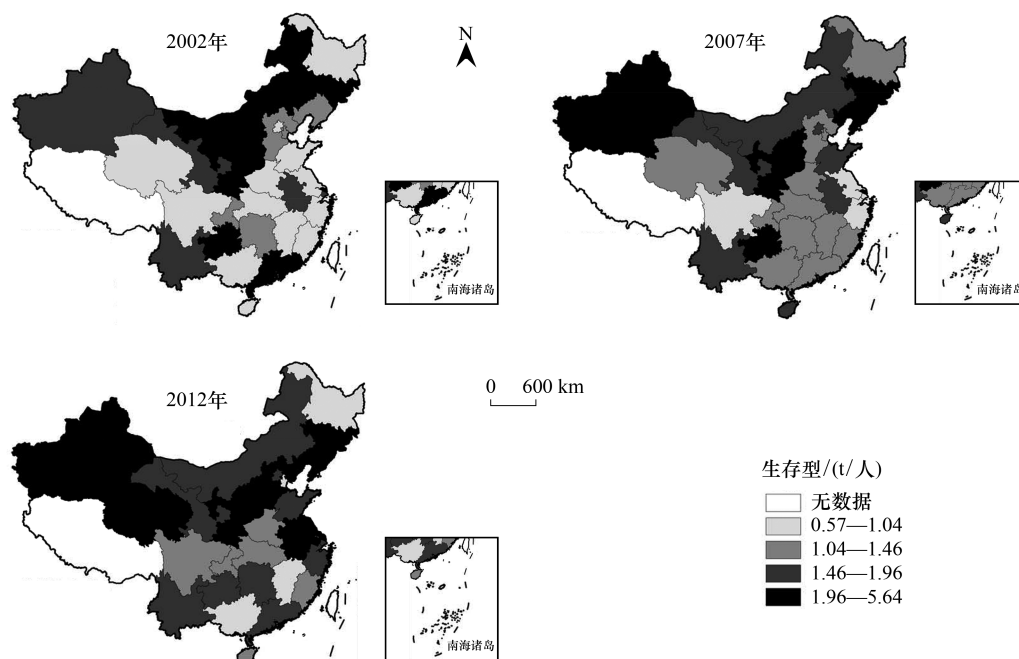


图2 2002、2007、2012年中国省域城镇居民生存型人均隐含碳排放空间格局

Fig.2 Spatial distribution of urban residents' survival per capita indirect carbon emissions in 2002, 2007, 2012

2012 年排放量整体呈现较高水平,多数省份介于 1.96t—5.69t,在空间上呈“V”字型,北高南低的空间格局更加明显。

③多数省份排放水平呈现正向变化,但空间差异逐渐减小。吉林、宁夏、山西、陕西碳排放水平一直很高,远远领先于其他省份,这可能是因为这些地区的技术水平及基础设施等方面的落后造成的;甘肃、云南始终稳定在第二梯队,重庆为第三梯队;多数省份排放量上升势头较强,其中安徽、河北、江苏、辽宁、青海、新疆由相对低的水平上升为第一梯队,北京、山东、浙江由第四梯队上升为第二梯队,这可能是因为这些地区经济快速发展导致居民生活水平显著提高,生存型消费内容日趋丰富、消费量逐渐增大,从而导致其显著增加。2002 年、2007 年、2012 年排放量的省际变异系数分别为 0.60、0.59、0.42,说明空间差异逐渐缩小。

2.1.2 发展型人均隐含碳排放

发展型人均隐含碳排放增长较快,高值区主要分布于北部地区(图 3)。

①发展型人均隐含碳排放水平较生存型低,但也呈增加趋势,且增长速度较快。2002 年、2007 年、2012 年发展型人均隐含碳排放的平均值分别为 0.86t、1.03t、1.33t,年均增长率高达 4.4%,远高于生存型,这可能是因为随着社会的发展,居民的消费观不再局限于满足人的生存需要,也不盲目追求舒适、享受的奢侈型生活,而是逐渐地将增强自身能力、考虑人长远发展的发展型消费摆在重要位置。

②北部地区始终是发展型人均隐含碳排放的高值区,其中吉林、山西、宁夏 3 省作为“高值”区的稳定度较高,始终居于第一梯队。

③发展型人均隐含碳排放的空间差异逐渐缩小,但东西差异小于南北差异。2002 年、2007 年、2012 年排放量的变异系数分别 0.65、0.58、0.50,说明省际空间差异逐渐缩小,但东西方向上的差异小于南北方向,北高南低的空间格局未被打破。

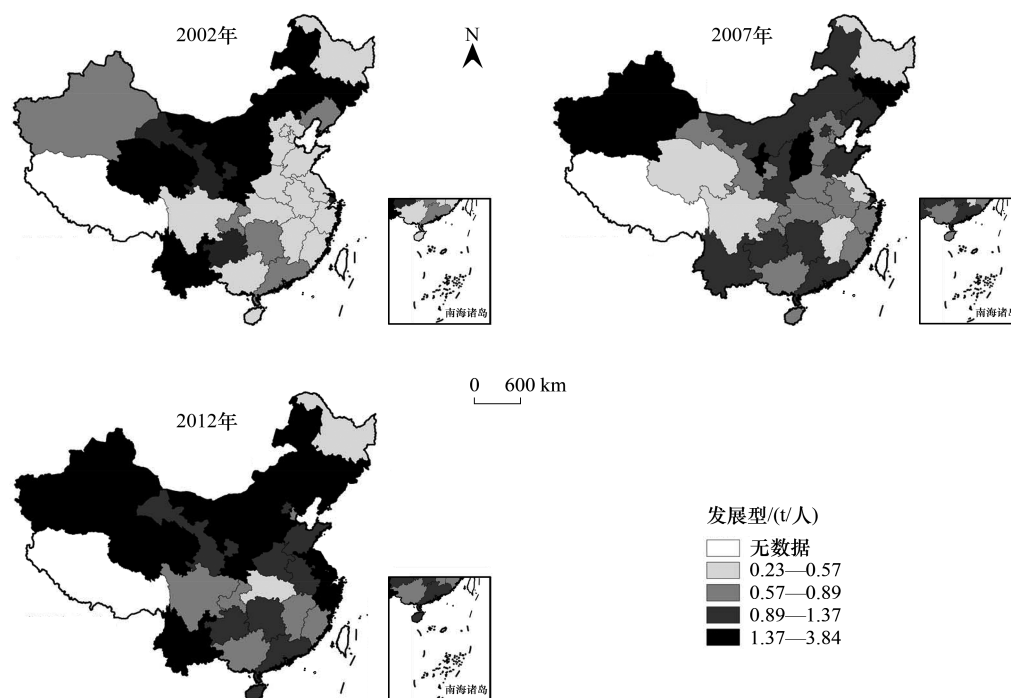


图 3 2002、2007、2012 年中国省域城镇居民发展型人均隐含碳排放空间格局

Fig.3 Spatial distribution of urban residents' developmental per capita indirect carbon emissions in 2002, 2007, 2012

2.1.3 奢侈型人均隐含碳排放

奢侈型人均隐含碳排放水平较低,演变特征复杂(图 4)。①奢侈型人均隐含碳排放整体水平较低,但增

长速度仅次于发展型。2002 年、2007 年、2012 年排放量平均值分别为 0.24t、0.27t、0.35t,年均增长率为 3.8%。这可能是因为城镇居民对进一步丰富物质生活和精神生活的消费需求不断扩大,从而引起奢侈型人均隐含碳排放快速上升。

②排放量的低值区与高值区的数量具有此消彼长的变化特征。高值区主要位于北部地区,空间范围向北部集中的趋势逐渐增强,省区数量由 2002 年的 5 个增加 2012 年的 12 个,其中内蒙古、宁夏、山西、贵州可能是因为其技术水平有限导致隐含碳强度较高,为高值稳定区,低值区主要分布于南部及东部地区,省份数量由 2002 年的 12 个减少为 2012 年的 2 个,这可能是因为南部地区技术虽较先进,但奢侈型消费水平不仅高且增加快,导致其水平显著上升。

③奢侈型人均隐含碳排放空间差异显著但不稳定。2002 年、2007 年、2012 年排放量的省际的变异系数分别 0.61、0.46、0.51,说明其省际空间差异呈现先减小后增加的“V”型变化趋势。

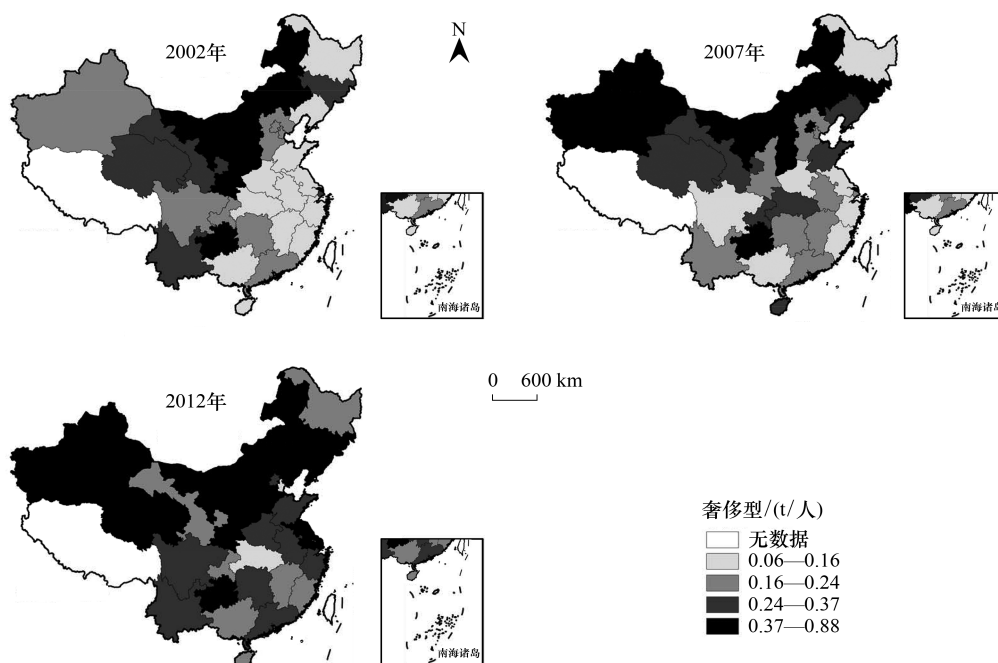


图 4 2002、2007、2012 年中国省域城镇居民奢侈型人均隐含碳排放空间格局

Fig.4 Spatial distribution of urban residents' luxurious per capita indirect carbon emissions in 2002, 2007, 2012

综上分析无论是何种类型的碳排放,从全国的平均水平上来看,均呈现上升趋势,在空间上,高值区均趋向于在北部地区分布,南部地区相对较低。这主要是因为隐含碳排放不同于直接碳排放,其不仅与社会经济的发展、居民的消费水平、消费内容相关,也与产品与服务的生产与再生产的多个方面有直接关系,包括产品与服务的生产、运输、分配、消费与处理等多个环节。随着生活水平的提高,各需求层次人均隐含碳排放必然呈现增加趋势,而北部地区由于其交通、技术等方面的劣势,其在各个环节的效率较南方低,因此北部地区居民需付出更高的隐含碳成本,形成高值区。

2.2 不同需求层次人均隐含碳排放驱动机制分析

2.2.1 全局 Moran's I 检验

在现实中,相邻区域由于存在地理空间效应,区域间会存在资源与信息等的流动和交换,因此区域间隐含碳排放的空间溢出效应和扩散效应会被加剧,这就意味着隐含碳排放存在空间自相关性。从上述分析可知,不同需求层次人均隐含碳排放空间上呈现同类型连片分布的特征,进一步表明相邻省区的隐含碳排放空间上可能存在关联。对空间关联的测度是空间聚类分析的核心,本文采用空间探索性分析技术全局莫兰指数

诊断不同需求层次人均隐含碳排放的空间关联性,并采用标准化统计量 Z 进行显著性检验,从而探究城镇居民不同需求层次人均隐含碳排放的空间上的互动关联特征。

借助 Geoda 软件计算出 2002—2012 年不同需求层次人均隐含碳排放的全局 Moran's I 。从表 1 可知,不同需求层次人均隐含碳排放的全局 Moran's I 均为正,且多数通过显著性检验,说明不同需求层次人均隐含碳排放的空间分布上并非呈随机状态,具有正相关关系,即各需求层次人均隐含碳排放水平相似的地区在空间上呈集聚分布,具有较强的“马太效应”。可见,空间相关性因素强烈影响着中国 30 省区不同需求层次人均隐含碳排放空间格局的变迁,因此在对不同需求层次人均隐含碳排放驱动机制的研究中不能忽视空间因素,应在考虑空间自相关的基础上运用空间计量模型进行研究。

表 1 中国省域 2002—2012 年城镇居民不同需求层次人均隐含碳排放全局 Moran's I

Table 1 The Moran's I of per capita indirect carbon emissions in different demand levels from 2002 to 2012

类型 Type	Moran's I	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
生存型 Survival	I	0.165	0.162	0.17	0.148	0.132	0.114	0.153	0.156	0.115	0.225	0.203
	P	0.033	0.035	0.03	0.041	0.056	0.081	0.038	0.037	0.035	0.009	0.015
发展型 Developmental	I	0.257	0.254	0.233	0.03	0.018	0.09	0.107	0.104	0.159	0.105	0.108
	P	0.004	0.004	0.007	0.274	0.311	0.121	0.091	0.095	0.035	0.097	0.094
奢侈型 Luxurious	I	0.297	0.245	0.278	0.063	0.104	0.115	0.123	0.12	0.143	0.149	0.175
	P	0.001	0.005	0.002	0.185	0.101	0.083	0.073	0.076	0.049	0.044	0.025

表中 I 为全局莫兰指数, P 为全局莫兰指数标准化统计量检验的伴随概率

2.2.2 共线性检验

为避免在回归时出现伪回归现象,因此对所选取的变量进行多重共线性检验。如表 2 所示,各影响因子的方差膨胀因子(VIF)最大值为 6.1,均值为 2.71,均小于 10,说明各影响因子之间不存在严重共线性,可以用所选变量来阐述对不同需求层次人均隐含碳排放的影响。

表 2 多重共线性检验

Table 2 Multicollinearity test

变量 Variables	$\ln GDP$	$\ln EI$	$\ln P$	$\ln Engel$	$\ln UR$	$\ln DI$	$\ln STR$	平均方差膨胀因子 Average VIF
方差膨胀因子 VIF	6.1	3.33	2.6	1.94	1.86	1.86	1.32	2.71
1/方差膨胀因子 1/VIF	0.1639	0.3004	0.3846	0.5163	0.5378	0.5382	0.7562	

表中 VIF 为方差膨胀因子

2.2.3 模型判断及分析

本文采用空间面板方法进行模型估计(表 3)。不同需求层次人均隐含碳排放估计模型的确定:从对各方面板回归最小二乘估计结果的检验来看,生存层面的 LMlag、LMerror 通过显著性检验,发展型的 R-LMlag、LMerror、R-LMerror 通过显著性检验,奢侈型的 LMlag、LMerror、R-LMerror 也通过了显著性检验,表明 3 个估计模型的残差存在空间自相关性,SLM 和 SEM 均优于无空间交互效应的传统面板数据模型,但选择采用 SLM 还是 SEM 时,还需考虑 SDM 的结果。

3 个 SDM 的 Hausman 检验在 1% 显著水平下拒绝原假设,说明不应将固定效应看做随机形式;Likelihood Ratio(LR)检验显示,3 个面板模型的时间固定效应均显著拒绝原假设,所以均应采用时间固定效应;Wald 检验显示,3 个 SDM 均通过了 1% 的显著性水平,说明 SDM 不能转化为 SLM 和 SEM。基于以上分析,本文选择纳入时间固定效应的 SDM 来阐释不同需求层次人均隐含碳排放的驱动机制。

不同需求层次人均隐含碳排放的空间自回归系数均显著为正,与全局 Moran's I 的检验结果一致,进一步说明了模型选择的科学性。由于空间杜宾模型纳入了空间滞后解释变量与被解释变量,自变量系数的点估计值除了包含自变量对因变量的直接效应外,还包含有“反馈效应”,为了得出各自变量的直接影响及对空间交

互效应进行深入剖析,需采用偏微分方程来计算自变量的直接效应与间接效^[46](表4)。

表3 不同需求层次人均隐含碳排放的面板回归和SDM(点估计)回归结果

Table 3 Estimation regression results of per capita indirect carbon emissions in different demand levels

变量 Variables	面板回归模型 Panel regression model			变量 Variables	空间杜宾模型 SDM		
	生存型 Survival	发展型 Developmental	奢侈型 Luxurious		生存型 Survival	发展型 Developmental	奢侈型 Luxurious
lnEI	0.5270 ***	0.5579 ***	0.6784 ***	lnEI	0.5583 ***	0.7008 ***	0.7226 ***
lnSTR	0.1974	0.4610 **	0.4558 ***	lnSTR	-0.0138	0.3284 *	0.7427 ***
lnGDP	-0.0236	-0.0258	-0.0587	lnGDP	-0.0333	-0.0315	-0.0085
lnEngel	-0.3565	-1.2318 ***	-0.6263 *	lnEngel	0.2524 **	-0.5555 *	-0.4886 *
lnDI	0.057	0.3433 ***	0.5505 ***	lnDI	-0.1118 *	0.2495 *	0.083
lnUR	0.2387 *	-0.0101	0.2166 **	lnUR	0.1747 *	0.0422	0.0604
lnP	0.0173	-0.0058	0.0222 **	lnP	-0.0116	-0.0039	-0.0546 *
				WlnEI	0.2902	0.04136	-0.0274
				WlnSTR	-0.502	-0.5047	0.2684
				WlnGDP	0.3301 ***	0.4515 ***	0.4875
				WlnEngel	2.6287 ***	2.9524 ***	1.2606 ***
				WlnDI	-1.9261 ***	-1.9844 ***	-1.6188 ***
				WlnUR	1.5904 ***	1.272909 ***	0.6941 ***
				WlnP	-0.1600 ***	-0.345284 ***	-0.2388 ***
				WlnC	0.3419 **	0.3129 ***	0.5279 ***
R ²	0.2747	0.3666	0.4037	R ²	0.7187	0.8129	0.6606
LMlag	8.9876 ***	2.2598	45.2296 ***	Wald_spatial_lag	87.1068 ***	72.6567 ***	54.0863 ***
R-LMlag	0.5859	2.7383 *	0.0189	Wald_spatial_error	84.5558 ***	73.3713 ***	56.1021 ***
LMerror	8.6285 ***	6.5827 *	58.4056 ***	Hausman	109.1876 ***	476.8483 ***	115.3098 ***
R-LMerror	0.2267	6.6612 *	13.1949 ***				
LR-Spatial	-18.0603	-35.4704	-163.4504				
LR-time	96.9857 ***	49.7410 ***	132.3261 ***				

*、**、*** 分别表示 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 和 $P<0.01$

表4 空间杜宾模型的直接效应和间接效应

Table 4 Direct and indirect effects of the Spatial Durbin Model

变量 Variables	生存型 Survival		发展型 Developmental		奢侈型 Luxurious	
	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect
lnEI	0.5534 ***	0.1693	0.6989 ***	0.0144 ***	0.7256 ***	-0.053
lnSTR	0.0121	-0.4304	0.3336	-0.5226	0.7481 ***	0.2238 ***
lnGDP	-0.0449	0.2988 ***	-0.0355	0.4398 ***	-0.0099	0.4724 *
lnEngel	0.1571	2.3079 ***	-0.5850 *	2.8828 ***	-0.4986 *	1.2506 ***
lnDI	-0.0429	-1.7138 ***	0.2606 *	-1.9446 ***	0.0901	-1.5650 ***
lnUR	0.1157 *	1.3967 ***	0.0274 *	1.2405 ***	0.0605 *	0.6692 ***
lnP	-0.0590 *	-0.1396 **	-0.023 *	-0.3349 ***	-0.544 *	-0.2278 ***

*、**、*** 分别表示 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 和 $P<0.01$

(1) 技术进步是抑制不同需求层次人均隐含碳排放增加的关键因素。技术进步对不同需求层次人均隐含碳排放的直接效应均显著为正,对发展型人均隐含碳排放的间接效应也显著为正。在直接效应中,技术进步对奢侈型影响最大,其次为发展型和生存型,这与技术含量的需求层次分布特征相符合,由于奢侈型消费的产品中多为新兴产品,技术含量较高,技术进步带来的减排效益与潜力都较大,因此东部地区增加技术资金投入、大力发展低碳技术恰好满足奢侈型消费低碳化的需求,形成低奢侈型排放区。将直接效应与间接效应对

比来看,生存型和奢侈型消费需求层次的技术进步更多是对本省碳排放下降的促进作用,而发展型需求层次的技术进步对邻省促进作用更大,这可能是由于发展型消费的技术外溢条件要求相对较低,因此在空间上相互输出特征更为明显、空间外溢效应更强。未来应加大技术投资与扩散,提高绿色科技的核心创造力进而降低不同需求层次人均隐含碳排放。

(2)宏观经济因素对各需求层次人均隐含碳排放的影响以间接效应为主。产业结构的变动仅对奢侈型人均隐含碳排放有显著正向直接和间接效应。产业结构作为“资源配置器”、能源及污染物的“控制体”,它的转换与升级能够促进产业结构效率与水平的提高。我国产业布局体系仍不合理,造成严重的资源浪费,尤其北部地区的山西、辽宁、新疆、宁夏等省区的第三产业就业人员的劳动报酬与城镇单位就业人员总劳动报酬的比值较其他省区低,说明产业结构严重失调,导致奢侈型排放水平较高。在区域协调发展的大背景下,区域要素流动与产业合作,使区域之间的产业发展具有联动特征,但只在奢侈层面上显著。经济规模的扩大对邻省各需求层次产生较大减排压力,且随着需求层次的上升呈现逐渐加强趋势。这可能是因为本地经济的发展往往伴随着生产规模的扩大,生产决定消费,从而间接地引致邻省居民消费量增大,同时也说明通过发展经济来降低不同需求层次人均隐含碳排放存在“门槛效应”,区域经济一体化的逐渐加强并不能达到区域隐含碳排放整体减排目的。未来应以产业结构合理化和高级化为基点进行产业结构调整与优化,加大对绿色产业的扶持,建立以绿色 GDP 为核心指标的综合经济与资源环境核算体系,健全区域之间合作互助机制与利益补偿机制,从而实现区域间相互正向促动、良性互动的同时降低碳排放。

(3)居民消费因素对不同需求层次人均隐含碳排放的作用通道存在差异。恩格尔系数下降会引起邻省各需求层次人均隐含碳排放下降及本省发展型和奢侈型人均隐含碳排放增加。恩格尔系数的下降代表居民生活水平与质量的上升,而居民生活水平与质量的提高往往与发展型、奢侈型消费增加相伴而生,因此恩格尔系数的下降会导致本省发展型和奢侈型人均隐含碳排放的增加。理论上讲,恩格尔系数下降会引起生存型人均隐含碳排放下降,但从其直接效应系数来看并不显著,可能是因为居民逐渐从生存型消费转向精神型消费,娱乐、医疗等消费成为人们生活消费的重要部分,而这部分消费金额较大,使恩格尔系数呈下降趋势,所以恩格尔系数在此失灵,其下降并没有引发本省生存型人均隐含碳排放下降。人均可支配收入的提高会引发本省发展型人均隐含碳排放的增加,但会抑制邻省各需求层次人均隐含碳排放的增加。人均可支配收入对发展型人均隐含碳排放的直接影响为 0.2606,在 10%的水平上显著。在间接效应中,人均可支配收入的提高对发展型的负向作用高于生存型和奢侈型。消费者在一定的环境下进行消费,邻省会以其为对比与参照目标,取精用宏,尤其是发展型这种考虑未来长远发展的消费,其对邻省的影响更为显著,因此人均可支配收入在发展层面上具有更为强烈的负向空间外溢效应。未来在提高居民生活水平的时候,应兼顾现实与长远发展的需要,加快居民消费模式和生活方式的转变,优化消费结构,形成绿色环保的社会氛围。

(4)人口因素对不同需求层次人均隐含碳排放具有正向结构效应和负向规模效应。城镇化率的提高是首要的增排因素,其对各需求层次人均隐含碳排放的直接效应和间接效应均为正。由于农村人口迁移至城市后,其对自身生活条件及公共服务设施条件等均提出更高要求,如河南、河北等城镇化率快速上升的省份其各需求层次人均隐含碳排放也呈快速增加特点,因此城镇化水平的提高不利于隐含碳减排。城镇人口规模的扩大对本省及邻省不同需求层次人均隐含碳排放均具有“减速器”作用。这是因为城镇地区人口规模的扩张与集聚有利于资源共享、技术方法革新与扩散,为提高城市效率奠定了基础,从而产生规模效应促进本省及邻省隐含碳减排。未来应结合人口的规模和结构特征,寻求二者的平衡点,加强对最优人口分布的研究,挖掘人口因素的减排潜力。

3 结论与讨论

3.1 结论

结合居民的消费需求层次开展人均隐含碳排放的评估不仅有利于隐含碳排放水平的控制,也满足了发展

经济、保障人民生活水平的综合要求,通过本文的研究主要得到以下结论:

(1)我国不同需求层次人均隐含碳排放均呈现上升趋势,空间不均衡性主要体现在南北差异上,高值区均聚集在中国的北部地区,其中多数省份生存型人均隐含碳排放上升势头较强,空间差异逐渐减小,发展型和奢侈型的高值区在省份数量上分别呈现先减后增与逐渐增加的变化趋势,而在空间差异上分别呈现逐渐减小和先减后升的变化特征。

(2)不同需求层次人均隐含碳排放的全局 Moran's I 均为正,且多数通过显著性检验,即各需求层次人均隐含碳排放水平相似的地区在空间上呈集聚分布,具有较强的“马太效应”。

(3)不同需求层次人均隐含碳排放的数量及时空变化同时受到各影响因素的直接和间接影响,其作用机制既有相通之处,也存在差异。技术减排是降低不同需求层次人均隐含碳排放的重要举措,而人口规模在各需求层次上的负向减排作用远小于正向的人口结构效应,宏观经济因素表现为增排作用,居民消费因素的作用通道存在差异。此外,在各需求层次上,国内生产总值、消费因素及人口因素均有显著的空间效应,因此,在进行隐含碳减排时,应结合各影响因素作用的特征及各需求层次的特点,重视区域间的横向联动减排效应,做好隐含碳减排的统筹协调工作。

3.2 讨论

按需求层次进行隐含碳减排政策的制定是保证减排措施有效性的重要因素,将人均隐含碳排放分解为生存型、发展型和奢侈型进行分析对碳目标的实现具有重要意义。技术进步能有效抑制不同需求人均隐含碳排放的上升,但低碳技术的经济成本往往较大,尤其是奢侈型,且低碳技术的开发与实现也需要一定的时间耗费,因此,只有充分挖掘各方面的减排潜力,才能推进隐含碳减排工作的顺利实施。近年来,随着家庭人口模式的变化,家庭层面的人口因素如总户数^[47]、平均家庭户规模^[47]、人口老龄化^[48]等对环境均产生显著影响,因此在未来居民消费隐含碳排放的研究中,可引入家庭层面的因素进行分析。

隐含碳排放核算及其影响因素复杂,尽管本文做了大量的工作,但未来研究仍有可改进的空间。在计算不同需求层次人均隐含碳排放时,由于数据的限制及出于模型简化的考虑,没有考虑国际贸易的影响,将国内与国外产品的隐含碳排放强度视为一样,未进行细致区分;由于官方发布的各省《投入产出表》的更新具有较大的滞后性,最新的数据为 2012 年投入产出表,对模型的估计与分析的时效具有局限性,且国内区域之间的商品和服务流通对隐含碳排放的影响也较大,因此未来研究可结合进出口数据,对进出口商品与服务与国内的商品与服务进行区分,结合最新的多区域投入产出表对居民消费隐含碳排放进行核算,扩大研究的样本,延长研究的时间段。此外,本文在对空间权重进行选择时,仅考虑了研究系统内单元的空间相关性以及空间上的邻接关系,如何将社会经济关系与系统之外因素引进空间权重矩阵中,使权重矩阵更具有适用性值得进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 潘家华. 人文发展分析的概念构架与经验数据——以对碳排放空间的需求为例. 中国社会科学, 2002, (6): 15-25.
- [2] 樊杰, 李平星, 梁育填. 个人终端消费导向的碳足迹研究框架——支撑我国环境外交的碳排放研究新思路. 地球科学进展, 2010, 25(1): 61-68.
- [3] 刘莉娜, 曲建升, 黄雨生, 王莉, 曾静静, 边悦. 中国居民生活碳排放的区域差异及影响因素分析. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1364-1377.
- [4] 王琴, 曲建升, 曾静静. 生存碳排放评估方法与指标体系研究. 开发研究, 2010, (1): 17-21.
- [5] 刘荣霞, 张鹏鹏, 夏建新, 汲荣荣. 中国北方农牧区生存性碳排放特征与实证. 中国人口. 资源与环境, 2012, 22(4): 29-34.
- [6] 薛德升, 曾献君. 中国人口城镇化质量评价及省际差异分析. 地理学报, 2016, 71(2): 194-204.
- [7] Zhang Y J, Bian X J, Tan W P, Song J. The indirect energy consumption and CO₂ emission caused by household consumption in China: an analysis based on the input - output method. Journal of Cleaner Production, 2017, 163: 69-83.
- [8] Herendeen R, Tanaka J. Energy cost of living. Energy, 1976, 1(2): 165-178.
- [9] Fan J, Guo X M, Marinova D, Wu Y R, Zhao D T. Embedded carbon footprint of Chinese urban households: structure and changes. Journal of Cleaner Production, 2012, 33: 50-59.
- [10] Long Y, Yoshida Y, Dong L. Exploring the indirect household carbon emissions by source: analysis on 49 Japanese cities. Journal of Cleaner Production, 2017, 167: 571-581.

- [11] Markaki M, Belegri-Roboli A, Sarafidis Y, Mirasgedis S. The carbon footprint of Greek households (1995-2012). *Energy Policy*, 2017, 100: 206-215.
- [12] Underwood A, Zahran S. The carbon implications of declining household scale economies. *Ecological Economics*, 2015, 116: 182-190.
- [13] Wang Z H, Yang L. Indirect carbon emissions in household consumption: evidence from the urban and rural area in China. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 78: 94-103.
- [14] 米红, 张田田, 任正委, 周伟. 城镇化进程中家庭 CO₂ 排放的驱动因素分析. *中国环境科学*, 2016, 36(10): 3183-3192.
- [15] Yuan B L, Ren S G, Chen X H. The effects of urbanization, consumption ratio and consumption structure on residential indirect CO₂ emissions in China: a regional comparative analysis. *Applied Energy*, 2015, 140: 94-106.
- [16] Qu J S, Maraseni T, Liu L N, Zhang Z Q, Yusaf T. A comparison of household carbon emission patterns of urban and rural China over the 17 year period (1995-2011). *Energies*, 2015, 8(9): 10537-10557.
- [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. *地理科学*, 2016, 36(5): 691-696.
- [18] 李艳梅, 张红丽. 城市化对家庭 CO₂ 排放影响的区域差异——基于中国省级面板数据的分析. *资源科学*, 2016, 38(3): 545-556.
- [19] 万文玉, 赵雪雁, 王伟军, 薛冰. 我国农村居民生活能源碳排放的时空特征分析. *生态学报*, 2017, 37(19): 6390-6401.
- [20] 荣培君, 张丽君, 秦耀辰, 刘荣增, 郑智成. 城市居民嵌入式碳排放空间差异及影响因素. *经济地理*, 2018, 38(6): 178-186.
- [21] 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.
- [22] Heinonen J, Junnila S. Implications of urban structure on carbon consumption in metropolitan areas. *Environmental Research Letters*, 2011, 6(1): 014018.
- [23] 刘晶茹, Peters G P, 王如松, 杨建新. 综合生命周期分析在可持续消费研究中的应用. *生态学报*, 2007, 27(12): 5331-5336.
- [24] Feng Z H, Zou L L, Wei Y M. The impact of household consumption on energy use and CO₂ emissions in China. *Energy*, 2011, 36(1): 656-670.
- [25] 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.
- [26] Zhu Q, Peng X Z, Wu K Y. Calculation and decomposition of indirect carbon emissions from residential consumption in China based on the input-output model. *Energy Policy*, 2012, 48: 618-626.
- [27] Ma X W, Du J, Zhang M Y, Ye Y. Indirect carbon emissions from household consumption between China and the USA: based on an input-output model. *Natural Hazards*, 2016, 84(S1): 399-410.
- [28] 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.
- [29] Wang Z H, Liu W, Yin J H. Driving forces of indirect carbon emissions from household consumption in China: an input-output decomposition analysis. *Natural Hazards*, 2015, 75(S2): 257-272.
- [30] 王妍, 石敏俊. 中国城镇居民生活消费诱发的完全能源消耗. *资源科学*, 2009, 31(12): 2093-2100.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 徐新扩, 韩立岩. 就业状态对家庭消费隐含碳排放的影响——来自中国城市家庭的微观证据. *管理评论*, 2016, 28(12): 145-154.
- [34] 崔盼盼, 张艳平, 张丽君, 孙莹莹, 郑智成, 王伟, 徐晓霞. 中国省域隐含碳排放及其驱动机理时空演变分析. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 879-892.
- [35] 丰霞, 智瑞芝, 董雪旺. 浙江省居民消费间接碳足迹测算及影响因素研究. *生态经济*, 2018, 34(3): 23-30.
- [36] Wang Z H, Yang Y T. Features and influencing factors of carbon emissions indicators in the perspective of residential consumption: Evidence from Beijing, China. *Ecological Indicators*, 2016, 61: 634-645.
- [37] 姚亮, 刘晶茹, 袁野. 中国居民家庭消费碳足迹近 20 年增长情况及未来趋势研究. *环境科学学报*, 2017, 37(6): 2403-2408.
- [38] Ehrlich P R, Holdren J P. Impact of population growth. *Science*, 1971, 171 (3977): 1212-1217.
- [39] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence, and technology. *Human Ecology Review*, 1994, 1(2): 277-300.
- [40] 刘晓红, 江可申. 基于 PLS-VIP 方法的我国居民间接碳排放研究. *环境工程*, 2017, 35(2): 168-173.
- [41] 杜威. 基于 LMDI 分解模型的中国居民生活间接碳排放特征分析. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(S11): 5-9.
- [42] 鲍超. 中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系. *地理学报*, 2014, 69(12): 1799-1809.
- [43] 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. *生态经济*, 2014, 30(7): 28-32.
- [44] 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. *中国管理科学*, 2017, 25(8): 1-10.
- [45] Zhang C, Cao X Y, Ramaswami A. A novel analysis of consumption-based carbon footprints in China: unpacking the effects of urban settlement and rural-to-urban migration. *Global Environmental Change*, 2016, 39: 285-293.
- [46] Elhorst J P. Applied spatial econometrics: raising the bar. *Spatial Economic Analysis*, 2010, 5(1): 9-28.
- [47] 陈佳瑛, 彭希哲, 朱勤. 家庭模式对碳排放影响的宏观实证分析. *中国人口科学*, 2009, (5): 68-78, 112-112.
- [48] 李楠, 邵凯, 王前进. 中国人口结构对碳排放量影响研究. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(6): 19-23.