

人口集聚与雾霾污染： 基于生存型消费视角

朱雨可 赵佳¹

(西南财经大学 工商管理学院, 四川 成都 611130)

【摘要】：以居民衣食住行等生存型消费为视角，利用地级市人口数据构造了 30 个省份人口集聚指标——省际蔓延指数，采用空间杜宾模型考察了人口集聚对雾霾污染的直接、间接影响及其影响的异质性。研究表明，省级层面的人口集聚有助于直接缓解雾霾污染，但人口过度向省内中心城市集聚却不利于缓解雾霾污染；人口集聚将通过生存型消费各构成项间接影响雾霾。其中，人口集聚引致的食物消费增加会间接促进雾霾污染减少，但人口集聚引致的衣着、居住和交通通信消费的增加却会间接加剧雾霾污染，衣着、交通通信消费与雾霾之间均呈倒“U”型曲线关系；由人口集聚引致的生存型消费项的变化对雾霾污染的影响存在显著区域差异。因此，从人口与消费综合方向强化区域联防联控政策有助于防治雾霾。

【关键词】：雾霾 生存型消费 省际蔓延指数 空间溢出

【中图分类号】：X51 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1671-4407(2021)02-167-09

进入 21 世纪以来，随着我国以城市群为主体的城镇化格局不断完善，人口集聚的“东密西疏”空间分布特征更加凸显，人口密度大于每平方千米 350 人的城市主要集中于东南沿海、长江流域及黄淮海地区^[1]。人口集聚的影响是多方面的，一方面极大促进了各地区经济社会发展，提升了人民公共服务保障水平^[2]，另一方面又不断激化着人口与环境之间的矛盾，导致人口集聚区往往成为环境问题的高发区。根据全国城市空气质量实时发布平台核算，2018 年 367 个监测城市中，有 213 个城市年均雾霾浓度超过世界卫生组织一阶段最宽限制 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而雾霾污染较严重的城市主要分布在东南沿海、长江流域和黄淮海等人口稠密地区。

人口集聚区的雾霾高发与严重性折射出一个逻辑，雾霾污染表面看是一种环境生态现象，但实质是人口在集聚过程中经由人口数量分布变化、人口生产和消费活动变化与环境发生复杂作用的现象。在这一过程中，居民消费作为影响介质在人口集聚与雾霾污染之间扮演着重要角色，由此形成人口、消费和环境之间的复杂联结。正是这样，人口集聚在改变人口分布格局和提升消费多样性的同时，其引发的居民衣食住行等基本生存消费需求改变必然对环境产生重要影响^[3]。2020 年新冠肺炎疫情暴发初期，虽然多地工厂停工停产，但京津冀、成渝等地区仍出现严重的雾霾污染。这一现象既体现了雾霾成因的复杂性，又从侧面显示出人口集聚区内居民消费与雾霾污染的内隐联系。因此，在我国人口聚集不断加速的大趋势下，如果忽视集聚引致的人口格局变化和人口消费需求变化对环境的共同影响，就很难全面把握人口与雾霾污染之间的复杂作用机制，治霾政策的预期效果也必定有所减弱。因此，从人口发展和居民消费的综合路径寻求治霾之道，以消费为视角重新审视人口集聚与雾霾污染的关系无疑具有重要意义。

作者简介：朱雨可，博士，副教授，硕士研究生导师，研究方向为消费与可持续发展。E-mail:zhuyuke@swufe.edu.cn

基金项目：研究阐释党的十九大精神国家社会科学基金专项“完善促进人民‘美好生活消费需要’的体制机制创新研究”（18VSI070）；国家社会科学基金重大项目“中国各地人类发展指数的编制和研究”（16ZDA010）

1 文献回顾

有关人口与雾霾污染关系的研究最早可追溯到 20 世纪。西方国家在经历了 18 到 19 世纪的技术进步和经济增长后,普遍进入工业化阶段。随着城市人口急剧膨胀,污染物排放集中于高密度人口集聚区,比利时马斯河谷、英国伦敦、美国洛杉矶等地相继爆发严重雾霾。这一现象引起了学术界关注,学者们开始利用不同国家、不同时期数据分析人口集聚与空气污染的关系,并形成两种截然相反的观点。一种观点认为,人口集聚增加了区域人口规模和人口密度,促使生产供给、能源消耗等绝对总量增加,从而造成环境污染^[4-5];另一种观点则认为,人口集聚形成的规模效应能促进城市生产效率、技术创新和能源利用率提高,可以有效减少污染^[6-8]。上述两种观点之所以存在分歧,除了因为评价人口集聚对环境影响的指标较为多元之外,更重要的原因是人口集聚可以通过不同路径影响环境,而已有研究在探讨两者关系时,较多关注集聚引致的生产活动变化如何影响环境,却忽视了人口消费需求变化对环境的影响。

从理论上讲,消费是生产的最终目的和动力。自 20 世纪 60 年代起,国际学术界就开始重视人口消费需求变化对环境的诸多影响。为实现消费和环境的协调可持续发展,研究者将注意力集中在探讨如何减少能源和资源消费总量、提升消费效率、降低废弃物数量、改变消费模式等方面,其本质是寻求减少不必要的物质消费,并驱动生产端的根本性变革。然而,人口对环境的影响并非只是通过人口消费变量起作用,人口集聚引发的人口规模、结构、空间等格局变化同样会影响环境,所以物质减量化的政策主张因未考虑人口格局变化的环境效应,不可避免存在一定局限性。为此,一些研究尝试将人口集聚、人口消费和环境变量全部纳入人口与环境关系的分析框架中,形成了 Kaya 恒等式、IPAT 模型等经典理论。借鉴这些理论模型,国内学者发现人口集聚和人口消费等变量各自具有不同特征,其影响我国环境的方式和程度也不同。例如,吴文恒和牛叔文^[9]比较了人口数量和消费水平变化对环境影响的差异指出,前者通过数量而后者通过质量影响环境。朱勤等^[10]的研究表明,居民消费水平、人口城市化率、人口规模三个因素对碳排放总量变化影响明显。罗能生和张梦迪^[11]以消费结构作为中介变量考察了人口规模与环境效率的关系,发现人口规模增长不利于环境的改善,不同消费结构类型对环境的作用不尽相同。

显然,已有研究充分表明对人口与环境关系的分析不能忽视人口格局变化和消费变化的共同作用,但鲜有文献专门探讨这种共同作用与雾霾污染的关系。由于人口格局变化的时空差异、居民消费需求的多样性,使得这种共同作用对雾霾污染的影响在不同地区、不同类型消费活动等方面均存在异质性。现有研究虽从统计意义上指出了这种异质性的存在,但少有学者针对异质性在区域层次的不平衡性和消费类别层面的差异进行探讨,为数不多的相关研究也只是选取某一类型的消费展开分析,缺乏异质性的比较且结论有待进一步验证。例如,Reynolds 等^[12]发现人口集聚会增加食物消费总量,提高当地农业相关部门生产和能源消耗,从而增加空气污染,但人们对绿色食品的重视在一定程度上又会部分抵消因食物消费总量增加带来的空气污染。此外,Næss^[13]和王丽^[14]的研究发现人口集聚会增加交通工具的使用与购买,汽车尾气排放的物质进入大气会造成雾霾污染,但集聚带来的公共交通使用率提高又会减少私人汽车使用频率,从而有效抑制雾霾污染。

进入 21 世纪,我国人口集聚呈现新的趋势,居民衣食住行等生存型消费需求也在发生质的变化。基于此,本文以生存型消费为视角,通过构建代表人口集聚效应的省际蔓延指数,利用空间计量模型实证检验了人口集聚对雾霾污染的影响效应,在此基础上考察了这种影响效应在六大城市群和不同类别生存型消费需求方面的差异,以期为促进我国现阶段城市人口与资源环境协调发展提供一定参考。

2 模型选择与指标体系

2.1 模型选择

本文选用 Dietz & Rosa^[16]修订的非线性—随机的 IPAT 模型(STIRPAT 模型)考察人口与雾霾的关系。模型表达式为:

$$I = aP^bA^cT^d e \quad (1)$$

式中:I 代表环境影响, P 代表人口, A 代表财富, T 代表技术发展, a 为常数项, b、c、d 分别代表人口、富裕程度和技术发展的弹性系数, e 为随机扰动项, 对模型 (1) 进行对数化处理并扩展为模型 (2):

$$\ln PM_{it} = \alpha_i + \gamma_t + b \ln P_{it} + c \ln C_{it}^m + d \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中:PM 为 PM_{2.5} 年均浓度值;P 代表人口集聚指标;C^m 为居民在“衣食住行”四个方面的消费支出, m 为消费支出类别;X 为控制变量; α_i 与 γ_t 分别为省份固定效应和时间效应; i 为省份; t 为时间; ε 为扰动项。为从居民消费视角考察人口集聚对雾霾污染的影响, 本文采用 1998—2015 年 30 个省份 (西藏、港澳台地区除外) 的面板数据对模型 (2) 进行回归。

鉴于环境库兹涅茨曲线理论是开展环境经济研究的基本理论框架, 本文引入了人口集聚和消费各变量的二次项以考察变量与雾霾之间的“U”型结构关系, 如模型 (3) 和模型 (4) 所示。同时, 为分析人口集聚如何通过衣食住行等基本生存型消费来影响雾霾污染, 引入人口集聚与消费的交互项以考察人口集聚对雾霾的间接影响, 如模型 (5) 所示。f、g、h 均为系数。

$$\ln PM_{it} = \alpha_i + \gamma_t + b_{it} + f(\ln P_{it})^2 + d \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln PM_{it} = \alpha_i + \gamma_t + b \ln P_{it} + c \ln C_{it}^m + g(\ln C_{it}^m)^2 + d \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln PM_{it} = \alpha_i + \gamma_t + b \ln P_{it} + c \ln C_{it}^m + h(\ln P_{it} \cdot \ln C_{it}^m) + d \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

另外, 为考察雾霾的空间外溢效应, 本文采用空间计量模型进行实证分析。首先采用莫兰指数 I (Moran's I) 来度量空间自相关, 以分析人口、消费和雾霾相关变量的空间依赖性, 如公式 (6) 所示。

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

式中: x 为变量的样本空间值, \bar{x} 为变量样本均值, i 与 j 代表不同的区域, n 为省份个数, w_{ij} 为二元毗邻空间权重矩阵。莫兰指数介于-1~1 之间, 大于 0 表示正自相关, 代表区域高值与高值相邻、低值与低值相邻; 小于 0 为负自相关, 代表高值与低值相邻。

其次, 利用空间杜宾模型 (Spatial Durbin Model, SDM) 分析人口集聚与雾霾的关系, 如公式 (7) 所示。

$$PM = C\beta + WC\theta + \varepsilon \quad (7)$$

式中: PM 为雾霾浓度矩阵, C 为消费支出矩阵, W 为二元毗邻空间权重矩阵, WCθ 表示来自邻近省份自变量的影响, β、θ 为系数向量。

2.2 指标体系

2.2.1 人口集聚指标

本文构建了人口“省际蔓延指数”用以代表人口集聚指标。省际蔓延指数不仅能分析省级层面的人口集聚水平,还能分析省内各城市之间人口流向与空间分布情况。该指数是根据 Lopez & Hynes^[16]与 Fallah^[17]的城市蔓延指数核算方法拓展到省际层面计算而来的,如公式(8)所示。

$$sprawl_{it} = (LP_{it}\% - HP_{it}\%) \times 0.5 + 0.5 \quad (8)$$

式中: $sprawl$ 为省际蔓延指数, $LP\%$ 表示该省份人口密度低于该省平均人口密度的所有城市人口占该省总人口的比重, $HP\%$ 为该省份人口密度高于该省平均人口密度的所有城市人口占该省总人口的比重, i 代表省份, t 代表时间。本文采用各省平均人口密度作为划分所辖城市高密度与低密度人口标准,以此反映省份内部人口的集聚程度和空间分布。该指数属于人口集聚逆向指标,取值在 0~1 之间,越接近于 0 表示人口越集中,越接近 1 表示人口越分散。相比地级市人口密度,省际蔓延指数考虑到了省份内部各城市人口的流向与集中程度,对省份内部所辖地级市人口集聚的趋势测量更加精确。

本文收集了 1998—2015 年 30 个省份(西藏、港澳台除外)所辖 373 个地级市及直辖市所辖区县的户籍人口及人口密度数据(直辖市蔓延指数根据直辖市所辖各区县人口密度与直辖市人口密度对比后得出高密度和低密度地区),利用式(8)计算各省的省际蔓延指数。表 1 为部分省份的省际蔓延指数,鉴于篇幅只列举部分年份数据。研究发现,相比省内其他地级城市,省会城市、直辖市主城区以及经济发达地级市具有较大的人口聚集力。人口集聚是城市化进程的大趋势,经济发达地区人口向中心城市集聚的速度更快,省际蔓延指数较小且减少幅度较大,如北京、上海、广东。中西部地区省际蔓延指数较大,人口较为分散,如安徽、四川、贵州。

表 1 部分省份省际蔓延指数

省份	1998 年	2000 年	2003 年	2005 年	2008 年	2010 年	2013 年	2015 年
北京	0.348	0.343	0.339	0.324	0.258	0.188	0.184	0.183
上海	0.399	0.400	0.406	0.349	0.322	0.289	0.295	0.298
广东	0.418	0.408	0.403	0.376	0.393	0.391	0.385	0.382
吉林	0.525	0.524	0.521	0.516	0.514	0.512	0.512	0.509
安徽	0.258	0.360	0.358	0.422	0.348	0.413	0.343	0.342
江西	0.421	0.554	0.555	0.552	0.549	0.550	0.551	0.549
山东	0.403	0.388	0.386	0.385	0.383	0.380	0.380	0.378
河南	0.438	0.366	0.363	0.362	0.361	0.354	0.353	0.358
湖北	0.281	0.263	0.263	0.263	0.262	0.354	0.354	0.354
四川	0.381	0.429	0.429	0.429	0.430	0.431	0.430	0.428
贵州	0.536	0.603	0.602	0.603	0.440	0.456	0.466	0.464

2.2.2 雾霾浓度

由于国内长期的 $PM_{2.5}$ 数据缺失, 本文采用哥伦比亚大学大气成分分析小组根据卫星监测而来的全球 1998—2015 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度值栅格数据, 利用 ArcGIS 软件解析后得到中国省际年均 $PM_{2.5}$ 浓度值。图 1 为 1998—2015 年我国年均 $PM_{2.5}$ 浓度值时间变化趋势及 2015 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度空间分布图。从时间维度看, 2000 年以后, 我国雾霾污染呈现持续增长趋势, 年均浓度值均超过世界卫生组织第一阶段的最宽限制 $35 \mu g/m^3$ 。从空间分布来看, 我国雾霾污染影响范围逐步扩大且具有区域性特征。2015 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度分布图显示, 雾霾污染从东向西逐渐减少, 东部发达经济区、长江流域、长珠三角连片等区域污染严重。可以发现, 这些区域属于人口集聚区域和流入区域, 经济发展程度较高, 消费水平较高。

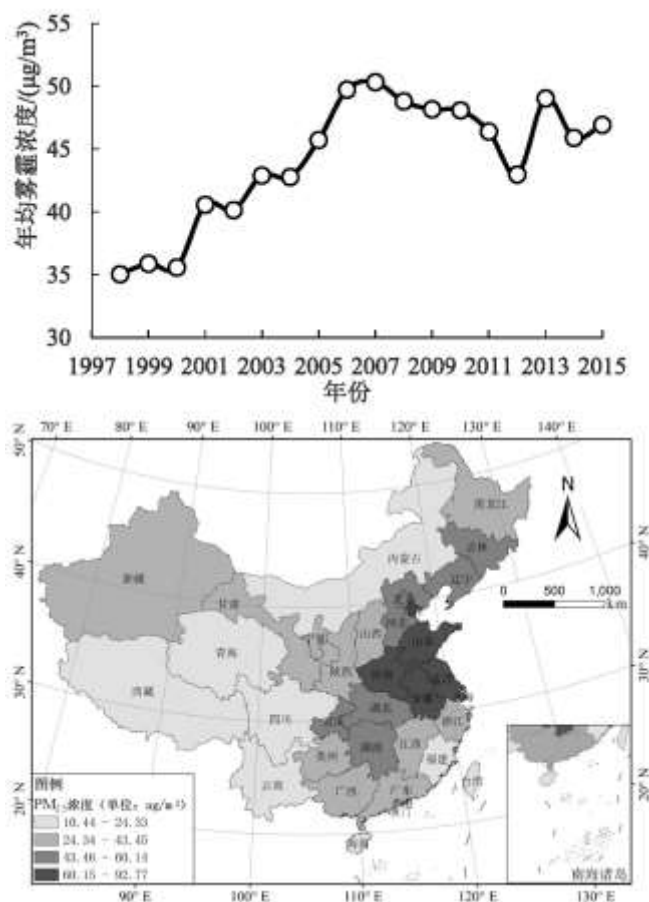


图 1 中国年均 $PM_{2.5}$ 浓度值时间趋势及空间分布

2.2.3 生存型消费

根据马克思的消费理论, 人的消费需求分为生存、享受和发展三种类型, 而生存型消费需求是基础。本文参考陈建宝和李坤明^[18]的研究, 将国家统计局消费支出八项中的食品、衣着、居住和交通通信划分为生存型消费支出, 同时采用城镇居民食品、衣着、居住和交通通信的现金消费支出来表示居民消费变量。虽然 2013 年国家统计局的指标统计口径发生了变化, 但居民消费增长的整体态势没有发生改变。四类消费支出的变化既能体现居民消费水平变化, 又能反映居民物质消费结构升级状况。需要说明的是, 由于人口集聚方向主要是农村流向城镇, 加上没有统一的总消费结构数据, 所以本文采用城镇消费支出结构代替总消费支出结构。罗能生和张梦迪^[11]的研究也认为, 由于农村数据与城镇数据统计标准不一致, 考虑到城镇居民消费占国内消费 76%以上,

采用城镇居民消费支出代表总支出情况是合理的。根据国家统计局公布的数据计算,1998—2015年城镇居民消费水平整体快速上升,消费结构中人均食物消费支出的比重从2000年的39.44%下降到2015年的34.80%,交通通信支出的比重从2000年的8.54%上升到2015年的16.15%。

为控制其他因素对雾霾的影响,本文采用三类控制变量:一是采用各省人口总量和老年抚养比以控制人口规模和结构维度对雾霾的影响;二是采用废气治理投入成本和生活无害化垃圾清运量指标以控制污染处理技术对雾霾的影响;三是采用各省人均国内生产总值和工业占比以控制当地经济增长与工业发展对雾霾的影响。所有数据根据国家统计局,相关年份《中国城市统计年鉴》和《中国人口统计年鉴》整理而来。表2为变量的描述性统计,除省际蔓延指数、老年抚养比与工业占比的标准差较小、数据比较稳定外,其余数据的波动较大,在回归前对波动较大的变量进行对数化处理。

表2 变量描述性统计

变量类型	变量(单位)	代表符号	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
因变量	雾霾指数/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM	540	44.17	18.86	12.68	92.77
自变量	省际蔓延指数	sprawl	540	0.37	0.11	0.07	0.69
	食物消费/元	food	540	3717.46	1816.55	1268.67	9822.88
	衣着消费/元	cloth	540	1055.15	553.93	186.44	2794.87
	居住消费/元	habit	540	1297.67	1373.96	208.04	12136.95
	交通通信消费/元	walk	540	1311.06	995.99	137.11	4860.42
控制变量	人口数量/万人	pop	540	4338.74	2620.24	503.00	10849.00
	老年抚养比	oldration	540	11.95	2.56	6.13	21.88
	生活无害化垃圾清运量/万吨	garbage	540	503.38	361.58	50.90	2320.40
	废气治理投入成本/亿元	contrgas	540	8.09	11.57	0.01	128.10
	工业占比	pindustry	540	46.59	7.62	19.74	61.50
	人均生产总值/元	agdp	540	25831.72	25607.91	2364.00	355996.60

3 实证分析

3.1 空间自相关检验

根据莫兰指数观察雾霾、人口和消费的空间依赖情况。图2a为1998—2015年雾霾浓度值、人口密度和食物消费的莫兰指数,结果均在1%水平下显著,为正自相关关系,所有消费项均具有空间相关性。采用人口密度是因为省际蔓延指数的原始计算值是以人口密度作为参考和计算衡量标准。图2b是以2015年雾霾为例的莫兰散点图,横轴为 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值,纵轴表示 $\text{PM}_{2.5}$ 的空间滞后值,均为标准化结果。可以看出,大部分省份位于第一、第三象限的空间正自相关区域,即高值与高值相邻,低值与低值相邻,表明雾霾具有较强的空间依赖性。

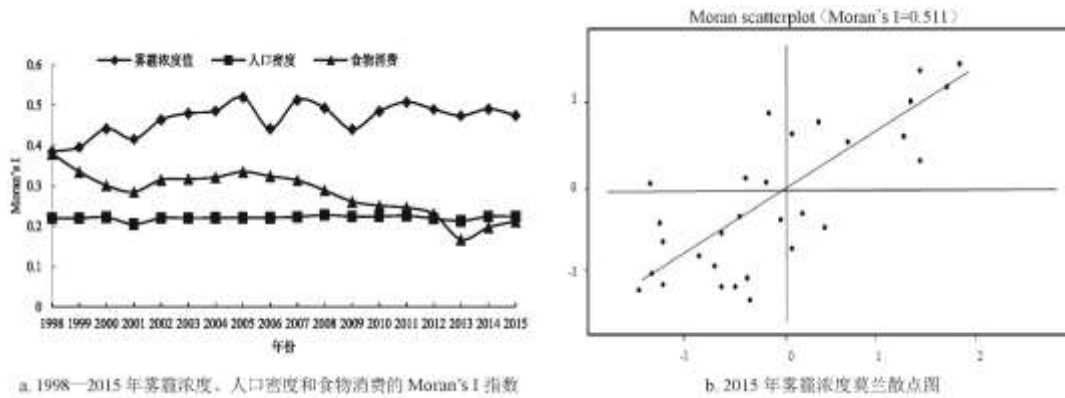


图2 地理权重下 Moran' sI 指数及散点图

3.2 全国层面实证结果

表3显示了人口集聚和生存型消费对雾霾直接影响的回归结果,由 Hausman 值系统选择固定效应和随机效应。可以看到,列(4)、列(5)、列(6)的空间自回归系数在 1%水平下显著为正,说明各省份雾霾浓度呈现空间正相关。列(1)和列(4)考察了人口集聚对雾霾的直接影响。省际蔓延指数在一般面板模型和空间杜宾模型中与雾霾污染均表现为显著正相关,说明人口越分散,雾霾污染越严重,而人口越集中,雾霾污染越少。

表3 人口集聚、生存型消费对雾霾的直接影响结果

变量	一般面板模型			空间杜宾模型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
sprawl	0.170* (0.103)		0.099 (0.105)	0.170** (0.072)		0.167** (0.071)
lnfood		-0.428*** (0.104)	-0.420*** (0.105)		-0.195*** (0.064)	-0.206*** (0.064)
lncloth		0.224*** (0.068)	0.227*** (0.069)		0.118*** (0.046)	0.124*** (0.046)
lnhabit		-0.059* (0.031)	-0.051 (0.033)		0.033 (0.020)	0.037* (0.020)
lnwalk		0.122*** (0.042)	0.121*** (0.042)		0.078*** (0.027)	0.067** (0.027)
lnpop	0.306*** (0.112)	0.134 (0.112)	0.154 (0.114)	0.339*** (0.082)	0.162*** (0.058)	0.179*** (0.056)
oldratio	0.007 (0.005)	0.008* (0.004)	0.008* (0.005)	0.008** (0.003)	0.008*** (0.003)	0.007** (0.003)
lngarbage	-0.119*** (0.025)	-0.144*** (0.025)	-0.143*** (0.026)	-0.049*** (0.019)	-0.066*** (0.019)	-0.061*** (0.019)
lnagdp	-0.025 (0.038)	-0.034 (0.038)	-0.029 (0.038)	0.028 (0.019)	0.009 (0.025)	0.018 (0.025)
lncontrgas	0.001 (0.008)	0.006 (0.006)	.006 (0.008)	0.001 (0.005)	0.0003 (0.005)	0.001 (0.005)
pindustry	-0.002* (0.001)	-0.003* (0.001)	-0.003** (0.001)	0.001 (0.001)	0.00003 (0.001)	-0.0002 (0.001)
rho 或 R ²	R ² =0.587	R ² =0.611	R ² =0.612	rho=0.820***	rho=0.761***	rho=0.758***

Hausman 值	15.13**	18.57**	2.63	73.94***	8.03	6.82
-----------	---------	---------	------	----------	------	------

表 3 中的列(2)和列(5)考察了居民衣食住行四类消费对雾霾污染的直接影响。其中,面板模型和空间杜宾模型均显示,食物消费与雾霾污染之间呈显著的负相关关系,可能与食物消费结构升级、农业产业结构调整有关;衣着消费的系数显著为正,主要是因为衣着消费增加使二产纺织业产量增加,从而增加能源使用和有害空气化学物排放,加重雾霾污染;空间杜宾模型显示,居民在交通通信的消费增加使 $PM_{2.5}$ 浓度增加,交通通信消费增加 1%,雾霾浓度对数增加 0.078%,但是居住消费对雾霾的影响不显著。

表 3 中的列(3)和列(6)报告了所有变量一般面板模型和空间杜宾模型的回归结果。省际蔓延指数在空间杜宾模型中显著为正,系数为 0.167,空间自回归系数 ρ 显著为正,说明空间溢出效应显著存在。食品、衣着、交通通信消费在空间杜宾模型和一般面板模型中表现出同样的效应,但是居住消费的系数在空间杜宾模型中显著为正,这是因为居住需求增加促使建筑工业发展,间接加重雾霾排放。

根据环境库兹涅茨曲线理论,本文引入省际蔓延指数和各消费项的二次项以验证解释变量与雾霾污染之间是否存在“U”型结构关系,同时,根据模型(5)引入省际蔓延指数与不同消费支出的交互项以考察人口集聚如何通过各项生存型消费间接影响雾霾污染,回归结果如表 4 所示。Hausman 检验结果显示,省际蔓延指数、食物与居住消费为固定效应模型,其余为随机效应模型。

表 4 显示省际蔓延指数、衣着、交通通信消费与雾霾之间呈显著的“U”型曲线关系,而食物、居住消费与雾霾未表现出任何“U”型关系。列(1)显示省际蔓延指数与雾霾之间呈现正“U”型关系,拐点值为 0.32,样本均值为 0.37,说明当前已经越过拐点,随着省内人口集聚程度的提高,雾霾污染将进一步减少。列(3)和列(5)显示衣着和交通通信消费与雾霾之间呈现显著的倒“U”型关系,表明居民消费在“穿”和“行”上存在规模效应。随着人口进一步集聚,集聚的规模效应有利于技术和生产效率提高,从而促进服装和交通消费向清洁消费方向发展,达到减少雾霾污染的目的。其中,衣着消费对数的样本均值为 6.82,曲线拐点值为 6.84,当前衣着消费未越过拐点,表明其消费支出的增加会加重雾霾污染;交通通信消费支出的对数均值为 6.88,拐点值为 9.29,当前交通通信消费未越过拐点,表明未来一段时期内其消费支出的增加会增加雾霾污染。

表 4 “U”型结构与交互效应回归结果

变量	省际蔓延指数	食物	衣着	居住	交通通信	交互效应
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
sprawl	-0.598**	0.175**	0.059	0.188***	0.152**	0.795
sprawl ²	0.945***					
lnfood		0.2481				0.030
lnfood ²		-0.017				
lncloth			1.463***			-0.050
lncloth ²			-0.107***			
lnhabit				-0.013		0.068
lnhabit ²				0.004		

lnwalk					0.322**	-0.007
lnwalk ²					-0.017*	
sprawl · lnfood						-0.528*
sprawl · lncloth						0.412*
sprawl · lnhabit						-0.105
sprawl · lnwalk						0.229
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
空间滞后项	YES	YES	YES	YES	YES	YES
rho	0.808***	0.809***	0.789***	0.801***	0.786***	0.741***
Hausman 值	49.04***	-0.16	12.15	33.45***	3.75	10.44

表 4 中列(6)显示, 省际蔓延指数与食物、衣着的交互项在 10%水平下显著, 与居住、交通通信支出的交互项不显著。针对食物和衣着消费求解偏微分 $\partial \ln PM_{2.5} / \partial C^i$, C^i 为不同项目的消费支出, 计算结果分别为 $0.03-0.528sprawl$ 和 $-0.05+0.412sprawl$ 。食物消费的偏微分结果表明, 人口集聚引致的食物消费支出增加对雾霾的作用方向不确定, 主要取决于人口集聚的程度。当省际蔓延指数大于 0.057 时, 食物消费增加将有利于雾霾污染减少。衣着消费的偏微分结果显示, 当省际蔓延指数大于 0.121 时, 衣着消费增加会加重雾霾污染。

3.3 区域实证结果

由图 1 可知, 雾霾污染在空间分布上表现出城市群的区域特点。因此, 本文以 2017 年 3 月底国务院先后批复的六大国家级城市群 1 作为划分依据, 以城市所在省份为划分单位来分析人口集聚对雾霾污染影响的区域差异。从图 1 可以看出, 六大城市群属于雾霾污染严重区域, 对其分析具有代表性, 故本文分别以六大城市群做交互效应和门槛效应分析。由于北部湾和成渝城市群只含 2 个省份, 不满足空间权重分析的条件, 本文采用一般面板模型分析, 其余城市群则采用局部空间杜宾模型回归。据统计, 雾霾污染由大到小排序为: 长三角城市群>中原城市群>长江中游城市群>成渝城市群>北部湾城市群>哈长城市群。省际蔓延指数由大到小排序为: 北部湾城市群>长江中游城市群>哈长城市群>长三角城市群>成渝城市群>中原城市群。

表 5 报告了省际蔓延指数与居民消费在六大城市群的交互效应回归结果。第一, 省际蔓延指数与食物支出的交互项系数只在长三角(36.831)、北部湾(6.114)和成渝城市群(11.826)显著为正, 由于省际蔓延指数属于逆向指标, 说明这些区域人口集聚带来的食物消费支出增加有利于雾霾减少。根据偏微分方程可知, 食物消费增长在一定程度上能弥补人口增加带来的雾霾污染, 弥补程度取决于人口蔓延程度。省际蔓延指数与衣着消费的交互项中, 系数只在长江中游(-8.709)、长三角(-23.201)、北部湾(-9.661)、成渝城市群(-12.248)显著为负, 说明这些区域人口集聚带来的衣着消费增加会加重雾霾污染。

第二, 省际蔓延指数与居住支出的交互项中, 长江中游(3.364)和中原城市群(0.693)的交互项系数显著为正, 而长三角(-7.451)、北部湾(-1.694)和成渝城市群(-2.027)交互项系数显著为负, 这主要与经济发展程度与消费水平有关。沿海地区经济较发达, 但由于地域面积较小、房价较高等因素, 人口向周边城市分散, 反而有利于释放雾霾污染压力。而长江中游和中原城市群属于中部地区, 地势平坦, 人口流出较多, 过于分散的人口反而不利于减少雾霾污染, 所以中部地区人口集聚带来的居住消费增加从长期看反而有助于减少雾霾污染。

第三,省际蔓延指数与交通通信消费的交互项中,长江中游(1.619)、长三角(4.485)和北部湾(3.985)城市群交互项系数显著为正。这些地区大多属于人口流入地,人口大量涌入会促使人口集聚度提高,一定程度上会减少私人交通使用和购买,增加公共交通使用频率,进而减少雾霾发生频率。哈长城市群(-2.668)与中原城市群(-1.119)的交互项系数显著为负,主要是因为这些地区属于人口流出地且消费水平与沿海发达地区相比有一定差距,人口集聚引致的交通消费增加会加剧雾霾污染。随着人口的流动,人口变化带来的交通污染可能转嫁到了人口流入地。

表 5 区域交互效应回归结果

变量	长江中游城市群	哈长城市群	长三角城市群	中原城市群	北部湾城市群	成渝城市群
sprawl	-0.807	-30.705	-124.749***	-5.856*	-3.692	-9.984
lnfood	-2.296***	-2.478	-15.939***	-0.233	-2.563	-3.030
lncloth	3.495***	1.724*	10.533***	-0.265	4.165*	3.001*
lnhabit	-1.740***	-0.914	2.816***	-0.233**	0.429	0.615
lnwalk	-0.526**	1.256**	-1.394***	0.462***	-1.799**	-0.635
sprawl • lnfood	3.037	7.481	36.831***	0.359	6.114*	11.826**
sprawl • lncloth	-8.709***	-3.973	-23.201***	0.854	-9.661*	-12.248**
sprawl • lnhabit	3.364***	2.622	-7.451***	0.693**	-1.694*	-2.027*
sprawl • lnwalk	1.619***	-2.668*	4.485***	-1.119***	3.985**	1.483
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
空间滞后项	YES	YES	YES	YES	YES	YES
rho 或 R ²	rho=0.064	rho=0.623***	rho=-1.599***	rho=0.410***	R ² =0.999	R ² =0.998

总的来讲,长三角和北部湾城市群人口集聚引致的食物和交通通信消费增加将会减少雾霾污染,引致的衣着和居住消费增加会增加雾霾污染。中原和哈长城市群人口集聚引致的交通通信消费增加会增加雾霾污染,但中原城市群人口集聚引致的居住消费增加会减少雾霾污染。长江中游城市群人口集聚引致的衣着消费增长会增加雾霾污染,但引致的居住和交通消费增加却会减少雾霾污染。成渝城市群人口集聚引致的食物消费增加会减少雾霾,但引致的衣着和居住消费增加会增加雾霾污染。所以,不同城市群雾霾污染的异质性与地区经济发展、地理特征、人口流向和消费类型相关联。

表 6 基于省际蔓延指数分析了六大城市群的人口集聚与雾霾是否存在“U”型曲线关系。由表 6 可知,只有长江中游和中原城市群存在显著的正“U”型的曲线关系,由于省际蔓延指数是负向指标,说明人口集聚与雾霾之间存在规模效应,其他城市群没有反映出这样的特征。经计算,长江中游和中原城市群拐点值分别为 0.454 和 0.426,而两个区域省际蔓延指数的样本均值分别为 0.416 与 0.342,目前都没有跨越拐点。这表明当前虽然长江中游和中原城市群所属的中部地区人口集聚会增加雾霾污染,但是随着人口持续集聚,一旦越过拐点,人口集聚将有利于雾霾污染的减少。

表 6 省际蔓延指数与雾霾“U”型结构检验

变量	长江中游城市群	哈长城市群	长三角城市群	中原城市群	北部湾城市群	成渝城市群
sprawl	-2.923*(1.463)	-3.047(4.606)	-3.595(2.732)	-0.769*(0.309)	-6.533(9.429)	-2.665(6.212)
sprawl ²	3.222*(1.672)	4.863(6.457)	5.267(3.422)	0.902*** (0.255)	8.103(12.089)	3.053(8.750)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
空间滞后项	YES	YES	YES	YES	—	—
ρ 或 R^2	$\rho = 0.326^{***}$	$\rho = 0.680^{***}$	$\rho = 0.204^*$	$\rho = 0.664^{***}$	$R^2 = 0.992$	$R^2 = 0.971$

3.4 稳健性检验

考虑到二元毗邻矩阵不能充分说明结果的稳健性,我们还考虑了空间其他权重选择结果,特别是距离和反距离空间权重的选择。地理学第一定律指出,距离越远的事物比距离越近的事物影响小,故本文选择以下三种权重作为稳健性检验的结果。

$$W_1(d) = \begin{cases} 1, & \text{若 } d_{ij} \leq d \\ 0, & \text{若 } d_{ij} > d \end{cases} \quad (9)$$

$$W_2(d) = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}}, & \text{若 } d_{ij} \leq d \\ 0, & \text{若 } d_{ij} > d \end{cases} \quad (10)$$

$$W_3(d) = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}^2}, & \text{若 } d_{ij} \leq d \\ 0, & \text{若 } d_{ij} > d \end{cases} \quad (11)$$

式中: d_{ij} 为区域*i*到区域*j*的球面距离, d 为地区间球面距离的临界值。我们在三类权重下考察了400km、500km、600km、700km、800km、900km、1000km、1200km、1500km、2000km等10种球面临界距离的稳健性结果,回归结果表现出较强的稳健性。限于篇幅,表7只汇报了权重 W_1 下400km、权重 W_2 下1200km与权重 W_3 下2000km的稳健性检验回归结果。

在不同权重和不同临界距离下,省际蔓延指数、食物、衣着、居住消费与雾霾浓度之间表现出较强的稳健性。列(1)、列(4)和列(7)的省际蔓延指数系数均显著为正,再次验证了人口集聚有利于雾霾污染减少的结论。但是,交通通信消费在稳健性检验中虽然显著性表现不稳定,但是系数符号始终为正,说明交通通信消费增加仍会加重雾霾污染。在所有检验中表现最为稳定的是省际蔓延指数的门槛效应,列(2)、列(5)和列(8)均显示省际蔓延指数与雾霾之间具有显著的正“U”型曲线关系,代表模型的门槛值分别为0.30、0.33和0.30,省际蔓延指数的样本均值为0.37,都已经越过拐点,与上文的研究结论一致。

列(3)、列(6)和列(9)的交互效应回归中,食物消费与省际蔓延指数的交互项系数均为负且多数显著,表现较为稳定。衣着和居住消费与省际蔓延指数的交互项系数显著性表现都不稳定。虽然交通通信消费与省际蔓延指数的交互项在表4中不显著,但在1200km和2000km权重下却显著为正,说明人口在更广泛区域的流动和集聚在一定程度上增加了交通工具的使用和购买,交通通信消费还没有表现出人口集聚带来的规模效应和人力资本外部性,但随着人口集聚程度进一步提高,相信这一现象将会改变。

表 7 稳健性检验结果

变量	400km (W ₁)			1200km (W ₂)			2000km (W ₃)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
sprawl	0.18** (0.08)	-0.47 (0.35)	1.59 (1.22)	0.21** (0.08)	-0.87*** (0.33)	2.18* (1.18)	0.19** (1.22)	-0.71** (1.22)	0.94 (1.18)
sprawl ²		0.79* (0.42)			1.33*** (0.39)			1.19*** (0.37)	
lnfood	-0.28*** (0.07)		-0.05 (0.14)	-0.22*** (0.07)		-0.04 (0.14)	-0.32*** (0.08)		-0.17 (0.14)
lncloth	0.13** (0.05)		-0.04 (0.10)	0.09* (0.05)		0.06 (0.10)	0.09* (0.05)		-0.0001 (0.0001)
lnhabit	-0.02 (0.02)		0.01 (0.05)	0.0002 (0.02)		0.06 (0.05)	-0.04 (0.03)		0.05 (0.05)
lnwalk	0.09*** (0.03)		-0.04 (0.07)	0.04 (0.03)		-0.10 (0.07)	0.02 (0.03)		-0.12 (0.07)
sprawl · lnfood			-0.65** (0.33)			-0.57* (0.32)			-0.35 (0.35)
sprawl · lncloth			0.40* (0.24)			0.11 (0.22)			0.21 (0.21)
sprawl · lnhabit			-0.05 (0.13)			-0.19 (0.12)			-0.29** (0.12)
sprawl · lnwalk			0.19 (0.18)			0.47*** (0.18)			0.40** (0.18)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
空间滞后项	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
rho	0.49***	0.67***	0.48***	0.75***	0.81***	0.70***	0.74***	0.81***	0.72***

4 结论

本文以居民衣食住行等生存型消费为研究视角,在核算省际蔓延指数的基础上,基于 STIRPAT 模型设计框架,运用全国 30 个省份 1998—2015 年的面板数据,利用空间杜宾模型分析了人口集聚对雾霾污染的直接、间接影响及区域差异,得到如下研究结论。

(1) 人口集聚和生存型消费对雾霾污染的直接影响表明,雾霾污染本身具有的显著空间正自相关,省级尺度的人口集聚有利于雾霾污染的减少,省际蔓延指数与雾霾之间呈现显著的“U”型曲线关系,表明当前省内中心城市的人口过度集聚不利于雾霾减少。从生存型消费的不同类别看,食物消费与雾霾之间呈显著负相关,衣着、居住和交通通信消费与雾霾污染呈显著正相关,但是,衣着和交通通信消费与雾霾之间呈现倒“U”型曲线关系,目前未越过拐点,说明当前人口集聚引致的衣着、交通通信消费增加与雾霾污染处于共同增长阶段,这一定程度上可以解释新冠肺炎疫情初期居民户外活动减少、消费活动以维持基本生存的消费需求为主,但集聚区雾霾仍然高发的原因。可见,雾霾污染既与环境容量承载相关,又与生存型消费中工业消费品需求持续增加相联系。居民食物消费需求减少与结构优化虽有利于雾霾污染减少,但仍不足以抵消由“穿、住、行”消费需求增加带来的雾霾污染。

(2) 人口集聚通过不同类型的生存型消费间接对雾霾污染产生影响。研究表明,人口集聚引致的食物消费对雾霾的影响取决

于人口集聚程度,当前人口集聚引致的食物消费增加有利于雾霾污染减少。然而,人口集聚也会通过衣着和交通通信消费增加而形成规模效应,从而间接减少雾霾污染。只是当前衣着和交通通信的消费增加仍会继续加重雾霾污染,这与衣着和交通通信所关联的工业生产有关,但近年来随着环境保护导向的“新科技”和“新消费”发展,其对环境的压力有望减缓。

(3)就区域而言,长三角和北部湾城市群人口集聚引致的食物和交通通信消费增加将会减少雾霾污染,引致的衣着和居住消费增加会增加雾霾污染。中原和哈长城市群人口集聚引致的交通通信消费增加会增加雾霾污染,但中原城市群人口集聚引致的居住消费增加会减少雾霾污染。长江中游人口集聚引致的衣着消费增加会增加雾霾污染,但引致的居住和交通通信消费却会减少雾霾污染。成渝地区人口集聚引致的食物消费增加会减少雾霾,但引致的衣着和居住消费增加会增加雾霾。省际蔓延指数与雾霾污染之间显著的正“U”型曲线关系仅体现在长江中游和中原城市群。人口集聚对雾霾影响的区域异质性与地区经济发展、人口流向、地理特征和消费类型相关联。

通过研究,本文提出以下建议:第一,加快省级层面的高质量人口集聚步伐,利用集聚的规模效应,发挥人力资本、公共服务、技术创新的集聚效应,推动全省人口、资源和环境的协调发展,从而有效减少雾霾污染。但在促进人口在省级层面集聚的同时,要注重人口在省内中心城市和其他城市之间的平衡发展。第二,充分发展环境友好型农业,通过食物的低碳消费发挥农业部门在减少雾霾污染中的作用,密切关注消费品工业发展的环境成本,发展循环经济促进消费品工业绿色转型,引导消费者需求向环保类新科技消费转移,从终端消费减少雾霾污染源。第三,雾霾污染的空间依赖性和区域高发特征凸显了区域联防联控的重要性。为此,以城市群为纽带,结合城市群人口、资源和消费发展特征,统筹大数据、卫星遥感、地面监测等平台统一测度标准,夯实雾霾污染的联防联控机制,形成环境协同监管和重污染天气联合应对、大区域圈经济发展与环境保护行动一致性的目标。

参考文献:

[1]张国俊,黄婉玲,周春山,等.城市群视角下中国人口分布演变特征[J].地理学报,2018(8):1513-1525.

[2]姚昕,潘是英,孙传旺.城市规模、空间集聚与电力强度[J].经济研究,2017(11):165-177.

[3]Curran S R,de Sherbinin A.Completing the picture:The challenges of bringing “Consumption” into the population-environment equation[J].Population and Environment,2004,26(2):107-131.

[4]Liddle B,Lung S.Age-structure,urbanization,and climate change in developed countries:Revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts[J].Population & Environment,2010,31(5):317-343.

[5]马素琳,韩君,杨肃昌.城市规模、集聚与空气质量[J].中国人口·资源与环境,2016(5):12-21.

[6]Brownstone D,Golob T F.The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption[J].Journal of Urban Economics,2009,65(1):91-98.

[7]陆铭,冯皓.集聚与减排:城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J].世界经济,2014(7):86-114.

[8]邵帅,李欣,曹建华.中国的城市化推进与雾霾治理[J].经济研究,2019(2):148-165.

[9]吴文恒,牛叔文.人口数量与消费水平对资源环境的影响研究[J].中国人口科学,2009(2):66-73,112.

-
- [10]朱勤,彭希哲,陆志明,等.人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证[J].中国人口·资源与环境,2010(2):98-102.
- [11]罗能生,张梦迪.人口规模、消费结构和环境效率[J].人口研究,2017(3):38-52.
- [12]Reynolds C J,Piantadosi J,Buckley J D, et al. Evaluation of the environmental impact of weekly food consumption in different socio-economic households in Australia using environmentally extended input-output analysis[J]. Ecological Economics, 2015, 111:58-64.
- [13]Næss P. Residential location affects travel behavior—but how and why?The case of Copenhagen Metropolitan Area[J]. Progress in Planning, 2005, 63(2):165-257.
- [14]王丽.汽车消费和空气污染相关性的面板数据分析[J].中国人口·资源与环境,2014(S2):462-466.
- [15]Dietz T,Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. Human Ecology Review, 1994, 1:277-300.
- [16]Lopez R,Hynes H P. Sprawl in the 1990s:Measurement, distribution, and trends[J]. Urban Affairs Review, 2003, 38(3):325-355.
- [17]Fallah, B N, Partridge M D, Olfert M R. Urban sprawl and productivity:Evidence from US metropolitan areas[J]. Papers in Regional Science, 2011, 90(3):451-472.
- [18]陈建宝,李坤明.收入分配、人口结构与消费结构:理论与实证研究[J].上海经济研究,2013(4):74-87.

注释:

1 六大城市群省份划分为:长江中游城市群(湖北、湖南、江西)、哈长城市群(辽宁、吉林、黑龙江)、长三角城市群(上海、江苏、浙江)、中原城市群(河南、山西、山东、安徽、河北)、北部湾城市群(广州、广西)、成渝城市群(四川、重庆),传统划分中辽宁省属于东三省,虽未在哈长城市群,但考虑地域因素和空间计量因素,纳入分析范围。为避免重复计量,安徽省归属于中部的中原城市群。