

人口集聚、经济集聚与 环境污染交互影响关系^{*}

——基于面板协整和 PECM 模型的分析

刘永旺 马晓钰 杨瑞瑞

【内容摘要】协调好人口、经济与环境的发展关系,必须厘清人口集聚、经济集聚与环境污染的因果关系。文章基于我国2007~2016年省级数据,运用面板数据单位根检验、面板协整检验以及面板误差修正模型(PECM)采用动态广义最小二乘法(DGLS)估计,对三者之间的长期因果关系和短期因果关系进行了研究。结果表明,在短期关系中,人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间呈现单向环形因果关系;在长期关系中,人口集聚、经济集聚与环境污染呈现双向环形因果关系。基于长期和短期因果关系的不同,我国在制定长期规划和短期规划时应抓住侧重点,以期实现区域经济、人口城镇化、环境保护之间的协调发展。

【关键词】人口集聚;经济集聚;环境污染;面板误差修正模型;环形因果关系

【作者简介】刘永旺,新疆大学经济与管理学院硕士研究生;马晓钰(通讯作者),新疆大学经济与管理学院教授;杨瑞瑞,新疆大学经济与管理学院硕士研究生。乌鲁木齐:830000

Interaction among Population Agglomeration , Economic Agglomeration , and Environmental Pollution: An PECM Model Analysis

Liu Yongwang Ma Xiaoyu Yang Ruirui

Abstract: In order to coordinate development of population , economy , and environment , it is necessary to clarify the causal relationships among population agglomeration , economic agglomeration and environmental pollution. Based on the provincial data from 2007 to 2016 , this paper uses the panel data unit root test , the panel cointegration test , and the panel error correction model (PECM) to generate the dynamic generalized least square (DGLS) estimation in order to explore the long-term and short-term causality among the three variables. The results show that for the short-term relationship , there is a one-way circular causal relationship among population agglomeration , economic agglomeration , and environmental pollution , while for the long-term relationship , these three variables demonstrate a double-circular causality. Based on the difference between the long-term and short-term causality , China should pay more attention to the development of regional economy , population urbanization , and environmental protection in order to realize the coordinated development of these three elements.

Keywords: Population Agglomeration , Economic Agglomeration , Environmental Pollution , Panel Error Correction Model , Circular Causality

Authors: Liu Yongwang is Master Student , Ma Xiaoyu is Professor and Yang Ruirui is Master Student , School of Economics and Management , Xinjiang University. Email: 924473291@ qq. com

^{*} 本文受到国家自然科学基金项目“新疆生育水平变动下的人口效应分析及后计划生育时代人口政策实施效果预判”(71663050)、新疆普通高校人文社科研究基地重点项目“新疆生育水平变动下人口效应分析”(XJEDU010116B01)和新疆大学经济与管理学院丝路基金项目“基于人才安全屋模型我国人才逆流研究”(JGSL18014)资助。

1 文献回顾与问题提出

2017 年 12 月 4 日,作为全球环境问题最高决策机制的联合国环境大会在肯尼亚内罗毕举行召开并发布了 2017 年全球污染现状的报告。根据大会报告可以把环境污染大致分为两类:生活污染、生产污染,而生活污染和生产污染主要来源于人口集聚与经济集聚。目前,由于城镇化的推进不断深入,人口集聚、经济集聚也不断凸显。经济集聚能带来规模经济,促进我国经济的持续发展,人口集聚能带来基础建设的共享,减少重复建设的资源浪费,但是过度的集聚或不合理的集聚会造成区域的资源短缺、土地占用、交通拥挤、环境污染等一系列环境问题。随着人们生活水平的日益提高,人们在追求经济效益的同时,对追求绿水青山的热情与日俱增。因此,深刻理解人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间的因果关系就显得极为重要。那么人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间到底是什么样的因果关系?三者之间的长期关系和短期关系是否一致?三者形成的因果关系是链形关系还是环形关系?深入探讨上述问题对促进人口、经济与环境三者形成良性互动无疑是具有理论价值和现实意义的。同时也为有效协调人口城镇化、合理控制区域人口集聚度、促进经济发展与环境保护等一系列政策的制定提供重要的实证依据,以期实现人口、经济与环境协调发展的目标。

在 Marshall(1890)最早提出集聚的概念之后,很多学者对有关人口集聚、经济集聚、环境污染方面的问题做出了突出的贡献。就人口集聚与经济集聚关系而言,早在 1979 年, Kau 和 Sirmans 就证明了人口的集聚与区域经济发展水平存在着密切关系;王桂新等人的(2012)研究发现人口迁入和迁出都呈现出集中的趋势,并且城镇收入水平等经济因素对人口的集聚有很强的吸引力;陈乐等人(2018)通过构建人口密度影响人均收入水平的理论模型分析发现人口集聚对我国城市经济增长产生显著的正向影响,并且东部地区最强、中部地区次之、西部最弱;杨东亮、任浩峰(2018)和王胜今、衣尚锦(2018)认为人口集聚可以提高城镇化率,降低人口抚养比,促进区域经济发展,提升城市竞争力。而人口集聚与环境污染之间的关系,先是 Ehrlich 和 Holdren(1972)通过 IPAT 模型研究表明人口是影响环境的关键因素之一;紧接着 Schulze(2002)在 IPAT 模型的基础上改进为 IPBAT 模型,认为人类的行为选择对环境有着重要的影响;国内学者王兴杰等(2015)研究发现人口密度不断提高致使城市局部污染集聚,是造成城市环境空气质量明显下降的根本原因。当然,研究较多的就是经济集聚与环境污染之间的关系,如张可、汪东芳(2014)通过构建交互影响理论模型,实证表明经济集聚和环境污染之间存在双向作用机制;也有学者从产业、城市规模的角度就经济、人口集聚与环境污染做关联性分析和敏感性分析,诸如马素琳等(2016)在 STIRPAT 模型的基础上进行了拓展,通过动态面板 GMM 方法分析发现不同的城市规模与集聚度会对空气质量有不同的影响;肖周燕、沈左次(2019)认为人口和产业快速集聚会对生产和生活带来不同的环境污染效应。

现有研究在人口、经济和环境关系方面做出了突出的贡献,但大都是以单一的时间序列为基础进行的分析,或者是关注人口集聚、经济集聚与环境污染其中某两个关系的研究。而且,目前的文献中,特别是在我国城镇化进程不断加深,人口集聚、经济集聚不断凸显,环境污染亟待解决现状下,鲜有深入探讨人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间因果关系的研究。因此,本文从产业、区域经济学领域引入区位熵来进行集聚度的测算,采用面板协整和 PECM 模型进行研究分析,考虑到内生性问题,本文运用动态广义最小二乘法(DGLS)对人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间的普遍因果规律进行估计,最后根据结论为有效协调人口城镇化、合理控制区域人口集聚度、促进经济发展与环境保护等方面提出理论性建议,以期指导区域协调经济、人口城镇化与环境保护之间的发展关系。

2 集聚度的测算与数据

2.1 集聚度的测算

区位熵(Location Quotient)又称区域产业专业化率,最早是由 P·Haggett 提出,它作为产业经济学

和区域经济学的一个基本概念,主要应用于产业相对集聚度分析和专业化水平分析。区位熵比率越大,说明该地区某产业相对于全国其他地区而言专门化程度越高,即集聚度越高。其模型表达式为:

$$LQ_{ij} = \frac{X_{ij} / \sum_{i=1}^m X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}} \quad (1)$$

该公式中 i 表示第 i 个产业 ($i=1, 2, 3, \dots, m$); j 表示第 j 个地区 ($j=1, 2, 3, \dots, n$); X 可根据不同的研究代表不同的含义。近年来,学术界不断有学者将区位熵理论与方法扩展到其他相关研究当中,诸如张红凤等人(2009)通过测度污染密集产业区位熵来反映产业经济效益与分工优势的高低有着密切的正相关关系。本文所研究的人口集聚、经济集聚与环境污染都是指在局部土地面积上的集聚度,Ciccone 和 Hall(1996)等人使用每平方公里土地上的产值来表示经济密度进而衡量一个地区的经济集聚水平,因此只有在区位熵的基础上纳入各地区土地面积以及全国土地总面积才能更加科学实际地反映出人口、经济与污染的集聚度。基于此,可将模型(1)扩展为模型(2),如下:

$$LQA_{it} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ijt} / \sum_{j=1}^n area_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ijt} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n area_{ij}} \quad (2)$$

该公式中 i 表示第 i 个省份 ($i=1, 2, 3, \dots, m$); j 表示第 i 个省份中第 j 个城市 ($j=1, 2, 3, \dots, n$); t 表示 t 年份,因此 LQA_{ijt} 表示第 i 个省份 t 时期的集聚度; $area_{ij}$ 表示 i 省份中城市 j 的面积;当 X 分别为常住人口数、经济总产值、环境污染排放时, LQA 依次表示人口集聚度、经济集聚度和环境污染程度,分别用字母 pop、eco、pol 表示。一般来说, $LQA > 1$ 表明该省份在人口(经济、环境污染)方面的集聚度高于全国集聚度水平; $LQA = 1$ 表明该省份在人口(经济、环境污染)方面的集聚度与全国集聚度水平相当; $LQA < 1$ 表明该省份在人口(经济、环境污染)方面的集聚水平与全国其他省份地区的集聚水平相比处于劣势。

2.2 数据来源与变量说明

本研究使用的面板数据覆盖了我国 31 个省、市、自治区,时间跨度从 2007 年到 2016 年。本文的研究目的是在多元框架的基础上分析人口集聚、经济集聚与环境污染之间的因果影响关系,因此选取了 4 个变量,各个变量相应的数据来自不同的资料。具体变量设定说明见表 1。

表 1 变量的设定与说明

Table 1 Setting and Description of Variables

| 变量名称 | 变量属性 | 变量表示 | 变量含义 |
|-------|------|------|--------------|
| 人口集聚 | 人口 | pop | 人口在局部地区的集聚程度 |
| 经济集聚 | 经济 | eco | 经济在局部地区的发展程度 |
| 环境污染 | 环境 | pol | 污染物在局部地区的排放量 |
| 土地总面积 | — | area | 各个城市的土地总面积 |

(1) 人口集聚(pop)可以衡量一个地区的人口集聚水平,反映的是单位面积土地上人口活动的区域水平。人口作为经济活动的主体,既是经济发展的推动者,又是经济发展成果的享有者。随着信息和交通的快速发展,人口迁移集聚将变得更容易,更多的人口也将通过向局部地区的迁入或迁出寻求自身更好的发展。刘睿文等人(2010)认为人口数量占地区面积的比与全国人口占全国面积的比值是

衡量人口集聚度的良好指标。该变量根据公式(2)的测算需要各地区的常住人口,因此相应的数据来自《中国人口统计年鉴》。

(2) 经济集聚(*eco*)反映的是一个地区的经济发展水平和区域产业结构。经济集聚特别是产业集聚能增加区域竞争力,随着工业化的加深,经济集聚度不断提高,区域产业竞争力也不断加强。本文借鉴 Ahlfeldt 等人(2015)所使用的经济密度来衡量经济集聚度,该变量的测算是基于各个省市的经济生产总值,所以原始数据来自《中国统计年鉴》。

(3) 环境污染程度(*pol*)指的是一个地区在单位面积土地上的污染排放量,反映的是现时排放的污染量是否已超出局部地区环境所能承载的能力。经济快速增长往往以严重的环境污染排放为代价,快速城镇化进程中,人口过度的集聚导致的过度开发利用以及增加的资源消耗会产生更多的污染排放。本文在 Crado 和 Valente(2011)所指出的工业污染基础上纳入了生活污染,这样能更全面地反映一个地区的污染状况,其数据来自《中国环境统计年鉴》。

(4) 土地总面积(*area*)是为了更科学实际地计算人口集聚、经济集聚和环境污染程度纳入进来的变量,其数据来自《中国城市统计年鉴》。

2.3 集聚度的均值分析

本文根据公式(2)和样本数据,分别计算出我国 31 个省(市、自治区)2007~2016 年人口集聚、经济集聚与环境污染度的集聚值,然后算出各个省区 10 年来 *pop*、*eco*、*pol* 的平均值,并进行降序排列。具体数值见表 2。

表 2 的计算与排序结果显示,在我国 31 个省(市、自治区)中,人口集聚、经济集聚与环境污染度都呈现不均衡的状态,从总体上看,经济集聚与环境污染的集聚值(*LQA*)>1 的大都集中在中部地区和东部地区,而西部地区的集聚度普遍偏低。人口集聚排名中,西部省市西藏、新疆以及宁夏分别位于 11 名、15 名和 16 名,这与我们现实感知的区域发展状况不一致,其中主要的原因在于公式(2)的计算原理。相较于东部地区,众所周知西部地区地广人稀,这里的地广只是省市的地理面积广袤,而人口迁移集聚的目的地大都是城镇地区,西部地区在经济上远落后于中部、东部地区,因而市辖区面积也相对较小,因此仅局限于地理面积层面测算人口集聚并不能真实地反映出我国目前城镇化的现状。同时,从表 2 中可以看出人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间存在相关性,而它们三者之间存在着何种因果关系,则有待进一步的实证分析,这也是本文研究的重点所在。

3 研究方法与模型构建

3.1 面板单位根检验

面板单位根检验是用于检验面板数据的平稳性。Costantini 和 Martini(2010)研究认为各种面板数据单位根检验都在不同程度上提高了单位根检验的检验功效。常用的几种面板单位根检验依据不同性质的面板数据分为两类:一类是以 LLC 检验为主的针对同质面板数据进行假设的单位根检验;另一类是以 IPS 检验、Fisher-ADF 检验以及 Fisher-PP 检验为主的针对异质面板数据进行假设的单位根检验。为了使检验结果更可信,本文同时采用以上 4 种检验方法对面板数据进行检验。

3.2 面板协整检验

经上述面板单位根检验发现本研究中主要变量的面板数据都是非平稳之后,便需要用协整检验来确定变量之间的长期关系,进而利用面板误差修正模型(PECM)来进行 Granger 因果检验。迄今为止,有两类面板数据协整检验方法:一类是 Pedroni(1999)、Kao(1999)提出的以 E-G 两步法的回归残差为基础的方法;另一类是 Johansen Fisher 提出的以最大似然比为基础的方法,其同样适用于异质型面板数据协整检验。本文采用 Pedroni 提出的面板协整检验方法,但也列示了其他几种面板协整检验结果,以便比较。

表2 中国31个省(市、自治区)集聚值(LQA)平均值排序表

Table 2 Ranking of (LQA) Average Values of 31 Provinces, Municipalities and Autonomous Regions in China

| 排名 | 地区 | pop 平均值 | 地区 | eco 平均值 | 地区 | pol 平均值 |
|----|-----|---------|-----|----------|-----|----------|
| 1 | 北京 | 2.07767 | 上海 | 60.29169 | 上海 | 52.88354 |
| 2 | 上海 | 1.53632 | 北京 | 19.32597 | 北京 | 12.24443 |
| 3 | 浙江 | 1.35021 | 天津 | 19.80665 | 天津 | 10.02675 |
| 4 | 江苏 | 1.20571 | 江苏 | 9.60277 | 江苏 | 8.44235 |
| 5 | 广东 | 1.10341 | 浙江 | 6.27639 | 广东 | 6.55059 |
| 6 | 天津 | 1.04059 | 山东 | 6.02738 | 浙江 | 5.88864 |
| 7 | 福建 | 1.03158 | 广东 | 5.83501 | 山东 | 4.41149 |
| 8 | 辽宁 | 0.97432 | 河南 | 3.31844 | 河南 | 3.44664 |
| 9 | 重庆 | 0.96344 | 福建 | 2.90384 | 福建 | 3.12851 |
| 10 | 内蒙古 | 0.83915 | 辽宁 | 2.72495 | 重庆 | 2.62391 |
| 11 | 西藏 | 0.81081 | 河北 | 2.43011 | 安徽 | 2.54742 |
| 12 | 吉林 | 0.80917 | 重庆 | 2.35233 | 湖北 | 2.30699 |
| 13 | 海南 | 0.80257 | 安徽 | 2.27004 | 辽宁 | 2.29331 |
| 14 | 湖北 | 0.77678 | 湖北 | 2.12835 | 河北 | 2.14523 |
| 15 | 新疆 | 0.77061 | 湖南 | 1.80797 | 湖南 | 1.99807 |
| 16 | 宁夏 | 0.75323 | 海南 | 1.44131 | 广西 | 1.71742 |
| 17 | 黑龙江 | 0.75034 | 江西 | 1.39134 | 江西 | 1.68506 |
| 18 | 山东 | 0.72803 | 山西 | 1.34125 | 海南 | 1.64311 |
| 19 | 青海 | 0.68907 | 陕西 | 1.26166 | 山西 | 1.23018 |
| 20 | 陕西 | 0.66525 | 吉林 | 1.11761 | 陕西 | 0.99801 |
| 21 | 山西 | 0.66073 | 广西 | 0.98675 | 吉林 | 0.92905 |
| 22 | 江西 | 0.61103 | 四川 | 0.85068 | 四川 | 0.89882 |
| 23 | 湖南 | 0.59855 | 贵州 | 0.71579 | 宁夏 | 0.85422 |
| 24 | 四川 | 0.58375 | 宁夏 | 0.58991 | 贵州 | 0.69859 |
| 25 | 云南 | 0.57382 | 黑龙江 | 0.50916 | 云南 | 0.50183 |
| 26 | 安徽 | 0.55965 | 云南 | 0.47465 | 黑龙江 | 0.43182 |
| 27 | 甘肃 | 0.55108 | 甘肃 | 0.24979 | 甘肃 | 0.21778 |
| 28 | 河南 | 0.54742 | 内蒙古 | 0.23471 | 内蒙古 | 0.12419 |
| 29 | 广西 | 0.51171 | 新疆 | 0.08074 | 新疆 | 0.08076 |
| 30 | 河北 | 0.50337 | 青海 | 0.04455 | 青海 | 0.04602 |
| 31 | 贵州 | 0.44527 | 西藏 | 0.01073 | 西藏 | 0.00556 |

注:表中数据根据《中国人口统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》以及《中国环境统计年鉴》相关数据计算得到。

3.3 Granger 因果关系检验

确定了变量之间的协整关系以后,就可以确定变量之间因果关系的方向和类型。因果关系方向分为:单向、双向和无因果关系;因果关系类型分为:长期关系和短期关系。本文主要探讨是人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间的因果关系,即在不同类型下三者之间呈现的关系是链形因果关系还是环形因果关系。因此,构建如下分析模型:

$$\begin{cases} pop_{it} = \alpha_i^{b \rightarrow a} + \beta_i^{b \rightarrow a} eco_{it} + \xi_{it}^{b \rightarrow a} \\ eco_{it} = \alpha_i^{a \rightarrow b} + \beta_i^{a \rightarrow b} pop_{it} + \xi_{it}^{a \rightarrow b} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} eco_{it} = \alpha_i^{c \rightarrow b} + \beta_i^{c \rightarrow b} pol_{it} + \xi_{it}^{c \rightarrow b} \\ pol_{it} = \alpha_i^{b \rightarrow c} + \beta_i^{b \rightarrow c} eco_{it} + \xi_{it}^{b \rightarrow c} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} pol_{it} = \alpha_i^{a \rightarrow c} + \beta_i^{a \rightarrow c} pop_{it} + \xi_{it}^{a \rightarrow c} \\ pop_{it} = \alpha_i^{c \rightarrow a} + \beta_i^{c \rightarrow a} pol_{it} + \xi_{it}^{c \rightarrow a} \end{cases} \quad (5)$$

其中 $i=1, 2, 3, \dots, N$ 代表不同的省(市、自治区); $t=1, 2, 3, \dots, T$ 代表样本年度; 方程组(3)、(4)、(5) 中的上标 a, b, c 分别代表人口集聚(pop)、经济集聚(eco) 以及环境污染(pol); 箭头“ \rightarrow ”代表方向, 例如: $a \rightarrow b$ 表示人口集聚对经济集聚的影响方向, 其他均类似; α_i 表示各面板单位的协整关系中存在不同的固定效应; β_i 表示各面板单位中的协整系数; ξ_{it} 表示残差项。

基于方程组(3)、(4)、(5) 可以得到动态的面板误差修正模型(PECM)。因果关系的方向和类型的检验都可以通过面板误差修正模型(PECM) 来具体确定。因此, 我们根据方程组(3)、(4)、(5) 构建如下面板误差修正模型:

$$\begin{cases} \Delta pop_{it} = \lambda_i^{b \rightarrow a} ect_{it-1}^{b \rightarrow a} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^{b \rightarrow a} \Delta pop_{it-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}^{b \rightarrow a} \Delta eco_{it-j} + \xi_{ij}^{b \rightarrow a} \\ \Delta eco_{it} = \lambda_i^{a \rightarrow b} ect_{it-1}^{a \rightarrow b} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^{a \rightarrow b} \Delta eco_{it-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}^{a \rightarrow b} \Delta pop_{it-j} + \xi_{ij}^{a \rightarrow b} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Delta eco_{it} = \lambda_i^{c \rightarrow b} ect_{it-1}^{c \rightarrow b} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^{c \rightarrow b} \Delta eco_{it-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}^{c \rightarrow b} \Delta pol_{it-j} + \xi_{ij}^{c \rightarrow b} \\ \Delta pol_{it} = \lambda_i^{b \rightarrow c} ect_{it-1}^{b \rightarrow c} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^{b \rightarrow c} \Delta pol_{it-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}^{b \rightarrow c} \Delta eco_{it-j} + \xi_{ij}^{b \rightarrow c} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \Delta pol_{it} = \lambda_i^{a \rightarrow c} ect_{it-1}^{a \rightarrow c} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^{a \rightarrow c} \Delta pol_{it-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}^{a \rightarrow c} \Delta pop_{it-j} + \xi_{ij}^{a \rightarrow c} \\ \Delta pop_{it} = \lambda_i^{c \rightarrow a} ect_{it-1}^{c \rightarrow a} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij}^{c \rightarrow a} \Delta pop_{it-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}^{c \rightarrow a} \Delta pol_{it-j} + \xi_{ij}^{c \rightarrow a} \end{cases} \quad (8)$$

方程组(6)、(7)、(8) 中 Δpop_{it} 、 Δeco_{it} 、 Δpol_{it} 分别代表人口集聚(pop)、经济集聚(eco) 以及环境污染(pol) 的一阶差分; ect_{it-1} 是面板误差修正模型(PECM) 的误差修正项, 它与方程组(3)、(4)、(5) 的残差存在如下关系: $ect_{it-1}^{b \rightarrow a} = \xi_{it-1}^{b \rightarrow a}$ 、 $ect_{it-1}^{a \rightarrow b} = \xi_{it-1}^{a \rightarrow b}$ 、 $ect_{it-1}^{c \rightarrow b} = \xi_{it-1}^{c \rightarrow b}$ 、 $ect_{it-1}^{b \rightarrow c} = \xi_{it-1}^{b \rightarrow c}$ 、 $ect_{it-1}^{a \rightarrow c} = \xi_{it-1}^{a \rightarrow c}$ 、 $ect_{it-1}^{c \rightarrow a} = \xi_{it-1}^{c \rightarrow a}$; λ_i 、 θ_{ij} 、 γ_{ij} 是需要估计的系数, 其中 θ_{ij} 和 γ_{ij} 是短期因果系数, λ_i 是长期因果系数; p 是依据 AIC 最小准则和 BIC 最小准则所选择的最优滞后阶数; ξ_{ij} 代表残差项。

因果关系的方向和类型可以由方程组(6)、(7)、(8) 中独立变量系数的显著性来确定。对于 i 省(市、自治区) 可能存在如下因果关系: 如果方程组(6) 中所有的 $\gamma_{ij}^{b \rightarrow a}$ 和 $\gamma_{ij}^{a \rightarrow b}$ 都显著不为零, 则说明人口集聚与经济集聚存在短期双向因果关系; 如果所有的 $\gamma_{ij}^{b \rightarrow a}$ 显著为零且 $\gamma_{ij}^{a \rightarrow b}$ 显著不为零, 则说明人口集聚对经济集聚存在短期单项因果关系; 如果 $\gamma_{ij}^{b \rightarrow a}$ 显著不为零且 $\gamma_{ij}^{a \rightarrow b}$ 显著为零, 则说明经济集聚对人口集聚存在短期单项因果关系; 若 $\gamma_{ij}^{b \rightarrow a}$ 和 $\gamma_{ij}^{a \rightarrow b}$ 都显著为零, 则说明两者之间是相互独立的, 不存在任何的因果关系。长期因果关系可以由观察调整速度 λ_i 的显著性来检验, 以此类推, 通过变量系数的显著性来判断人口集聚与环境污染、经济集聚与环境污染之间的长期和短期因果关系。

4 实证结果

4.1 面板单位根检验结果

本研究用前文所述的 4 种方法对人口集聚(pop)、经济集聚(eco)、环境污染(pol) 3 个变量及其一阶差分进行面板单位根检验, 以便确定各变量的稳定性和单整阶数。具体结果见表 3。

表 3 面板单位根检验结果

Table 3 Panel Unit Root Test Results

| 变量 | LLC | IPS | ADF-Fisher | PP-Fisher |
|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>pop</i> | 5.9961 (1.0000) | 6.6597 (1.0000) | 23.9193 (1.0000) | 23.8381 (0.9998) |
| Δpop | -12.1910 *** (0.0000) | -4.7652 *** (0.0000) | 131.3380 *** (0.0000) | 161.5610 *** (0.0000) |
| <i>eco</i> | -10.7288 *** (0.0000) | -1.4808 * (0.0693) | 96.3472 *** (0.0020) | 68.1032 (0.2209) |
| Δeco | -8.4288 *** (0.0000) | -2.5883 *** (0.0048) | 107.2650 *** (0.0002) | 91.0711 *** (0.0060) |
| <i>pol</i> | -2.6202 *** (0.0044) | 1.3479 (0.9112) | 46.5433 (0.8984) | 52.6500 (0.7386) |
| Δpol | -12.7272 *** (0.0000) | -5.4268 *** (0.0000) | 141.6440 *** (0.0000) | 154.8970 *** (0.0000) |

注: 括号外数字为统计量, 括号内数字为显著性水平; ***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下显著。

由表 3 中数据可知, 除个别情形外, 当用 4 种面板单位根检验方法对人口集聚(*pop*)、经济集聚(*eco*)、环境污染(*pol*) 的原值进行检验时, 检验结果都表明不能拒绝“存在单位根”的假设; 对 3 个变量的一阶差分进行检验时, 检验结果都表明强烈拒绝“存在单位根”的原假设; LLC 检验和 ADF-Fisher 检验无论是对经济集聚(*eco*) 原值还是一阶差分, 其检验结果都表明拒绝“存在单位根”的原假设。因此, 综合判断 3 个变量同时存在一阶单整, 即 I(1), 符合对人口集聚(*pop*)、经济集聚(*eco*)、环境污染(*pol*) 3 个变量进行协整检验的条件。

4.2 面板协整检验结果

基于面板单位根检验的结果, 我们得出样本面板数据存在一阶单整, 可进一步检验面板数据是否存在协整关系(见表 4)。

表 4 面板协整检验结果

Table 4 Panel Cointegration Test Results

| 检验方法 | | pop、eco | eco、pol | pol、pop |
|---------|---------------------|-------------|--------------|-------------|
| Pedroni | Panel v-Statistic | 3.5729 *** | 5.2043 *** | 1.3408 * |
| | Panel rho-Statistic | 2.8405 | -3.2982 *** | 1.2984 |
| | Panel PP-Statistic | -2.3856 *** | -12.3320 *** | -6.1779 *** |
| | Panel ADF-Statistic | -3.5749 *** | -4.9294 *** | -2.0516 *** |
| | Group rho-Statistic | 3.5568 | 2.7433 | 3.7844 |
| | Group PP-Statistic | -8.3821 *** | -2.7892 *** | -4.3159 *** |
| | Group ADF-Statistic | -4.2511 *** | -1.0998 | -0.8807 |
| Kao | ADF | 4.0941 *** | -8.1831 *** | 3.7419 *** |
| Fisher | Trace test | 336.9 *** | 414.2 *** | 274.5 *** |
| | Max-eigen test | 291.7 *** | 328.3 *** | 238.0 *** |

注: ***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下显著。

由表 4 可知, Pedroni 方法中构造了 7 个统计量, 在这 7 个统计量中 pop 与 eco、eco 与 pol 协整检验结果显示都有 5 个统计量显著, 而 pol 与 pop 协整检验结果也有 4 个统计量显著, 并且, Kao ADF 和 Fisher Trace test、Max-eigen test 都在 1% 的显著性水平下拒绝了“不存在协整关系”的原假设。总体来

说,人口集聚(pop)、经济集聚(eco)、环境污染(pol)三者之间存在协整关系,并且说明了人口集聚与经济集聚、经济集聚与环境污染、环境污染与人口集聚分别存在长期稳定的均衡关系。接下来的因果检验中,本文建立面板误差修正模型(PECM)对3个变量之间的详细因果关系继续进行比较和讨论。

4.3 Granger 因果关系检验结果

基于上述协整关系的存在,接下来使用面板误差修正模型(PECM)对人口集聚(pop)、经济集聚(eco)、环境污染(pol)三者之间的因果关系进行检验,以及对变量间的短期、长期因果关系加以检验和对因果关系方向加以确定。首先是根据模型(3)、(4)、(5)的长期检验结果来获取残差项 ξ_{it} ,然后运用面板误差修正模型(6)、(7)、(8)来估计Granger因果关系。估计结果见表5。

表5 面板误差修正模型回归结果

Table 5 Panel Error Correction Model Regression Results

| 因变量 自变量 | 模型(6)、(7)、(8) | | | | | |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Δpop_{it} | Δpop_{it} | Δeco_{it} | Δeco_{it} | Δpol_{it} | Δpol_{it} |
| C | -0.0691 (0.195) | -0.5903 (0.081) | 0.8422 (0.004) | 0.0295 (0.232) | 0.0217 (0.0512) | -1.1041 (0.013) |
| Δpop_{it-1} | 0.0772 (0.361) | 0.1566 (0.843) | 0.0938 (0.707) | — — | — — | 2.4967 (0.005) |
| Δpop_{it-2} | 0.2376 (0.007) | — — | 0.2419 (0.355) | — — | — — | 1.6155 (0.083) |
| Δpop_{it-3} | — — | — — | 0.1895 (0.450) | — — | — — | — — |
| — | -0.0534 (0.002) | — — | 1.0720 (0.000) | 0.7227 (0.000) | 2.7628 (0.000) | — — |
| Δeco_{it-2} | 0.0453 (0.005) | — — | -0.4586 (0.000) | 0.2882 (0.000) | -0.9597 (0.000) | — — |
| Δeco_{it-3} | — — | — — | 0.1110 (0.006) | — — | 0.4512 (0.000) | — — |
| Δpol_{it-1} | — — | -0.0015 (0.812) | — — | -0.1284 (0.000) | -0.7016 (0.000) | -0.1128 (0.099) |
| Δpol_{it-2} | — — | — — | — — | -2.0707 (0.000) | -0.4066 (0.000) | -0.0155 (0.081) |
| ect_{it-1} | 0.1135 (0.071) | 0.7361 (0.066) | -0.1597 (0.003) | -0.0093 (0.006) | -0.0082 (0.068) | 0.2146 (0.028) |

注:括号外数字为统计量,括号内数字为显著性水平;模型中所有的滞后阶数根据AIC和BIC最小准则取得最优滞后阶数。

(1) 短期因果关系分析

根据模型(6)并结合表5可以看出,反映人口集聚与经济集聚短期因果关系的系数 $\gamma_{ij}^{b \rightarrow a}$ 显著而 $\gamma_{ij}^{a \rightarrow b}$ 不显著,这表明经济集聚的短期变化可引起人口集聚的短期变化,其中从系数 $\gamma_{i,1}^{b \rightarrow a}$ 的负效应到系数 $\gamma_{i,2}^{b \rightarrow a}$ 的正效应反映出经济的初期集聚对人口集聚的效果并不明显,主要归因于人口的迁移集聚的前提是对迁入地的经济发展和基础设施完备状况怀有信心。经济的初期集聚,人们只是怀着观望的态度,并不着急做出迁移的决定,同时在经济集聚初期,其相应的基础设施配备并不完善。但随着经济集聚的继续深入,人口集聚会随之而来。然而人口的集聚却不是导致经济集聚的短期原因,其主要原因是:人口集聚对经济的发展效益具有滞后效应,人口的短期集聚并不能即刻使经济展现出极为明显的增长态势。

观察模型(7)同时结合表5发现,经济集聚与环境污染短期因果关系系数 $\gamma_{ij}^{c \rightarrow b}$ 和 $\gamma_{ij}^{b \rightarrow c}$ 都在1%的显著性水平下拒绝零假设,这表明经济集聚和环境污染短期呈互为因果的关系,即经济集聚的短期变化会引起环境污染的短期变化,反过来同理,这与我们的现实感知是一致的。环境是经济发展的载体,而经济集聚发展引起的资源消耗和污染是不可避免的,当经济集聚对资源消耗和环境污染超过其承载力阈值时,就会出现资源枯竭与环境恶化的现象,进而导致经济集聚发展的不可持续。我国经历以环境资源牺牲为代价的经济高速增长之后急需探索经济发展与环境良性互动的新发展方式,以求达到经济与环境和谐发展的目标。

由模型(8)以及表5可知,人口集聚与环境污染短期因果关系系数 $\gamma_{ij}^{c \rightarrow a}$ 不显著,而 $\gamma_{ij}^{a \rightarrow c}$ 显著,这说明人口集聚与环境污染短期呈单向因果关系即人口的集聚会引起环境污染。这主要体现为生活垃圾的排放,人类生活的副产品之一就是生活垃圾,无论人口集聚在哪个城市,无时无刻不在制造生活垃圾。据环境部发布的《2017年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》显示,2016年214个大、中城市垃圾产生量18850.5吨。反过来,环境污染在短期之所以不会影响人口的集聚,主要是因为人们在生活当中认识到环境污染需要一个过程,同时假如环境污染属于轻微的状况,那么即使意识到了环境污染,人们在短期之内也会从认识到环境污染的过程转变为适应环境污染的过程。

同时,基于短期因果检验结果,本文也列了三者的因果关系方向表,以便更加清晰地展现人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间的短期因果关系。具体见表6。

表6 短期因果关系方向表
Table 6 Short-Term Causal Directions

| 因变量 自变量 | 人口集聚 | 经济集聚 | 环境污染 |
|------------|------|------|------|
| 人口集聚 | × | ← | → |
| 经济集聚 | → | × | ↔ |
| 环境污染 | ← | ↔ | × |

注:表中箭头表示因果方向。

(2) 长期因果关系分析

通过表5发现,模型(6)、(7)、(8)中误差修正项ect的系数即长期调整系数 λ_i 都是显著的,这说明人口集聚、经济集聚与环境污染在长期中互为因果关系。人口集聚、经济集聚与环境污染是通过生产、消费、再生产、再消费循环机制来互相影响的,人口集聚可以推动经济快速集聚,而经济的集聚又可以吸引大量的劳动力,从而达到人口集聚的局面,人口集聚到环境所能承受的阈值,必然会引起环境恶化,而环境作为经济发展的载体,环境的恶化会减少投资者的投资、降低生产效率进而抑制经济的发展。具体长期因果关系方向见表7。

表7 长期因果关系方向表
Table 7 Long-Term Causal Directions

| 因变量 自变量 | 人口集聚 | 经济集聚 | 环境污染 |
|------------|------|------|------|
| 人口集聚 | × | ↔ | ↔ |
| 经济集聚 | ↔ | × | ↔ |
| 环境污染 | ↔ | ↔ | × |

注:表中箭头表示因果方向。

在长期关系中,人口集聚、经济集聚与环境污染3个变量互为双向环形因果关系,这符合人口、经

济与环境之间的经济理论:人口的集聚从生产意义上作为一种要素,要素的增加会带来经济产出的增加,同样经济集聚的加深对人口的需求以及吸引力也会随之扩大;人口过度的集聚导致集中污染排放超过了资源的再生速度和环境的自净能力,引起环境污染加剧,环境污染达到一定程度势必会抑制人口的迁入集聚,同时影响经济的发展;经济集聚会放大经济增长动力,带来的经济活动势必产生一定的污染排放,导致环境恶化,表5中经济集聚对环境污染的影响系数逐渐变小,也意味着由于经济集聚带来技术的快速提升,使得经济区域能够负担起更先进更环保的污染处理设备,进而改善了经济活动区域内的集中污染排放,这与杨礼琼、李伟娜(2011)的集聚外部性结论是一致的。

(3) 对三者因果关系的进一步解释

基于上述因果关系方向表,我们可以知道人口集聚的短期变化会引起污染集聚的变化,而污染集聚与经济集聚在短期内互为因果关系,这样一来三者之间形成一个单向环形影响关系,如图1所示。对于三者的长期因果关系,人口集聚、经济集聚与环境污染是通过生产、消费、再生产、再消费循环机制来互相影响的,即形成一个双向环形关系,如图2所示。

图1 短期因果关系图

Figure 1 Short-Term Causality Diagram

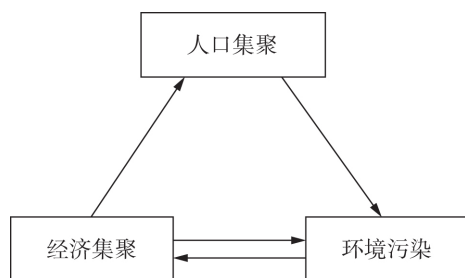
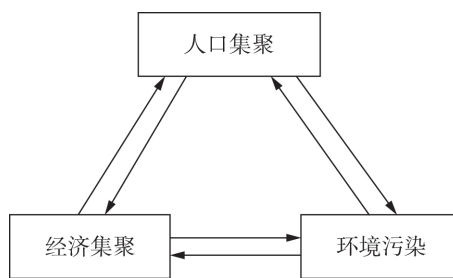


图2 长期因果关系图

Figure 2 Long-Term Causality Diagram



5 结论与启示

本文首先运用我国各省、市、自治区2007~2016年的数据进行面板单位根检验,发现3个变量同时存在一阶单整,即 $I(1)$;紧接着用面板协整检验对变量进行检验,发现变量之间存在长期协整关系;最后,为了进一步验证和分析人口集聚、经济集聚与环境污染之间的影响关系,基于面板误差修正模型(PECM)对人口集聚(pop)、经济集聚(eco)、环境污染(pol)3个变量间的短期、长期因果关系加以检验,并对因果关系方向加以确定。本文主要结论如下:

(1) 从短期来看,除经济集聚与环境污染2个变量之间存在双向因果关系,其他变量之间都是单向因果关系,因此,本文把人口集聚、经济集聚与环境污染3个变量之间的关系暂定为“单向环形”关系。根据表5可以看出,短期内的经济集聚对人口集聚的模式是缓坡式影响,但经过缓坡期后就会进入人口集聚猛增的阶段,当人口集聚、经济集聚对资源消耗和环境污染超过区域环境容量时,就会出现资源枯竭与环境恶化的现象,进而导致经济集聚发展的不可持续。

(2) 从长期来看,本文认为人口集聚、经济集聚与环境污染3个变量互为“双向环形因果关系”。人口的集聚会带动经济的发展,尤其是当今“人才大战”的关键时期,谁抢得人才制高地,谁的经济就会源源不断的迸发出新的生命力。人口带动生产,反之,经济的生产也会为人口的集聚创造有利的条件,从而导致人口的局部集中,这无异于“羊群效应”。人口集聚到一定的程度,即超过了资源的再生速度和环境的自净能力,会引起环境污染加剧,从而影响人口的迁入意向,同时影响经济的发展。经济集聚会放大经济增长动力,带来的经济活动势必产生一定的污染排放,导致环境恶化。无论实证分析还是理论分析,都可以看出人口集聚、经济集聚与环境污染三者之间呈现“双向环形因果关系”。

总之,本文的结论证实了人口集聚、经济集聚与环境污染存在因果关系。因此,从经济可持续发

展的角度来看,在处理人口集聚与经济集聚的环境问题上需要对症下药,针对区域人口和经济集聚的不同水平制定不同的政策。由于经济发展的市场化不断加深,越来越多的人口涌入城市,造成局部区域经济集聚与环境污染高度并存。相关部门应合理控制区域人口集聚,科学控制城市化进程,完善环境污染治理机制,以保证人类生存的基本条件。应积极发挥政府引导、统筹兼顾全局的作用,适当放缓经济增长速度,保证经济发展质量,减缓环境污染集聚度,以实现区域经济发展、人口城镇化、环境保护之间的良性互动。

参考文献/References:

- 1 Marshall A. 1890. *Principles of Economics*. London: Macmillan.
- 2 Kau J B and Sirmans C F. 1979. A Recursive Model of the Spatial Allocation of Migrants. *Journal of Regional Science* 19: 47-56.
- 3 王桂新,潘泽瀚,陆燕秋. 中国省际人口迁移区域模式变化及其影响因素——基于 2000 和 2010 年人口普查资料的分析. *中国人口科学* 2012; 5: 2-13
Wang Guixin, Pan Zehan and Lu Yanqiu. 2012. Regional Patterns of Interprovincial Population Migration in China and Its Influencing Factors: An Analysis Based on Census Data in 2000 and 2010. *Chinese Journal of Population Science* 5: 2-13.
- 4 陈乐,李郇,姚尧,陈栋胜. 人口集聚对中国城市经济增长的影响分析. *地理学报* 2018; 6: 1107-1120
Chen Le, Li Xun, Yao Yao and Chen Dongsheng. 2018. Analysis of the Impact of Population Agglomeration on Urban Economic Growth in China. *Acta Geographica Sinica* 6: 1107-1120.
- 5 杨东亮,任浩峰. 中国人口集聚对区域经济发展的影响研究. *人口学刊* 2018; 3: 30-41
Yang Dongliang and Ren Haofeng. 2018. A Study on the Impact of Population Agglomeration on Regional Economic Development in China. *Population Journal* 3: 30-41.
- 6 王胜今,衣尚锦. 基于人口集聚的东北地区城市竞争力的实证研究. *人口学刊* 2018; 3: 18-29
Wang Shengjin and Yi Shangjin. 2018. Empirical Research on Urban Competitiveness in Northeast China Based on Population Agglomeration. *Population Journal* 3: 18-29.
- 7 Ehrlich P and Holdren J. 1972. Impact of Population Growth. *Population, Resources, and the Environment*, Riker RG, Washington D. C: US Government Printing Office: 365-377.
- 8 Schulze P C. 2002. I = PBAT. *Ecological Economics* 40: 149-150.
- 9 王兴杰,谢高地,岳书平. 经济增长和人口集聚对城市环境空气质量的影响及区域分异——以第一阶段实施新空气质量标准的 74 个城市为例. *经济地理* 2015; 2: 71-76
Wang Xingjie, Xie Gaodi and Yue Shuping. 2015. Effects of Economic Growth and Population Concentration on Urban Air Quality and Regional Differentiation: A Case Study of 74 Cities in the First Stage of Implementing New Air Quality Standards. *Economic Geography* 2: 71-76.
- 10 张可,汪东芳. 经济集聚与环境污染的交互影响及空间溢出. *中国工业经济* 2014; 6: 70-81
Zhang Ke and Wang Dongfang. 2014. Interaction between Economic Agglomeration and Environmental Pollution, and Spatial Spillover. *Chinese Industrial Economy* 6: 70-81.
- 11 马素琳,韩君,杨素昌. 城市规模、集聚与空气质量. *中国人口·资源与环境* 2016; 5: 12-21
Ma Sulin, Han Jun and Yang Suchang. 2016. City Size, Agglomeration, and Air Quality. *Population Resources and Environment in China* 5: 12-21.
- 12 肖周燕,沈左次. 人口集聚、产业集聚与环境污染的时空演化及关联性分析. *干旱区资源与环境* 2019; 2: 1-8
Xiao Zhouyan and Shen Zuoci. 2019. Spatio-temporal Evolution and Correlation Analysis of Population Agglomeration, Industrial Agglomeration, and Environmental Pollution. *Resources and Environment in Arid Area* 2: 1-8.
- 13 张红凤,周峰,杨慧,郭庆. 环境保护与经济发展双赢的规制绩效实证分析. *经济研究* 2009; 3: 14-26
Zhang Hongfeng, Zhou Feng, Yang Hui and Guo Qing. 2009. Regulation Performance of the Win-win of Environmental

- Protection and Economic Development. *Economic Research* 3: 14-26.
- 14 Ciccone A and Hall R E. 1996. Productivity and the Density of Economics Activity. *Americans Economics Review* 1: 54-70.
 - 15 刘睿文, 封志明, 游珍. 中国人口集聚格局与形成机制研究. *中国人口·资源与环境* 2010; 3: 89-94
Liu Ruiwen, Feng Zhiming and You Zhen. 2010. A Study on the Pattern and Formation Mechanism of Population Concentration in China. *Population Resources and Environment in China* 1: 54-70.
 - 16 Ahlfeldt G M, Redding S J, Sturm D M and Wolf N. 2015. The Economics of Density: Evidence from the Berlin Wall. NBER Working Paper: 20354.
 - 17 Crado C and Valente S. 2011. Growth Pollution Convergence: Theory and Evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*: 62.
 - 18 Valeria Costantini and Chiara Martini. 2010. The Causality between Energy Consumption and Economic Growth: A Multi-Sectoral Analysis Using Non-Stationary Cointegrated Panel Data. *Energy Economics* 32: 3.
 - 19 Pedroni P. 1999. Purchasing Power Parity Tests in Cointeg Rated Panels. Working Paper Indiana University.
 - 20 Kao C. 1999. Spurious Regression and Residual-based Tests for Cointegration in Panel Data. *Journal of Economics* 105: 1-44.
 - 21 杨礼琼, 李伟娜. 集聚外部性、环境技术效率与节能减排. *软科学* 2011; 9: 14-19
Yang Liqiong and Li Weina. 2011. Agglomeration Externality, Environmental Technology Efficiency and Energy Saving and Emission Reduction. *Soft Science* 9: 14-19.

(责任编辑: 沈 铭 收稿时间: 2019 - 01)