

基于结构方程模型的中国县域人口老龄化影响机制

敖荣军^{1,2}, 常亮^{1,2}

(1. 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079;
2. 华中师范大学可持续发展研究中心, 武汉 430079)

摘要: 利用2000年和2010年分县人口普查数据, 分析中国县域人口老龄化的空间格局及变化, 采用结构方程模型拟合人口老龄化影响因子之间的路径关系, 探讨中国县域人口老龄化的影响机制。结果表明: 内蒙古包头至云南腾冲是中国县域人口老龄化较为清晰的空间分界线, 其东南部老龄化高值县区连片集中, 低值县区夹杂其间; 西北全域老龄化率普遍较低, 仅在北缘横亘一条中值县区连绵带。结构方程模型的拟合结果很好地解释了中国县域人口老龄化空间差异的影响机制。迁移率、预期寿命和生育率是人口老龄化进程的内生因素, 其中, 预期寿命对县域人口老龄化有正向效应, 迁移率和生育率则对县域人口老龄化有负向效应。社会经济、家庭状况和自然环境等因素是人口老龄化进程的外生因素, 对中国县域人口老龄化有显著的直接和间接效应。收入增加、社会发展、居住条件改善以及环境舒适性提高等推高县域人口老龄化水平, 城镇化水平提高则降低县域人口老龄化水平。

关键词: 人口老龄化; 影响机制; 结构方程模型; 路径分析; 中国县域

DOI: 10.11821/dlxb202008002

1 引言

随着生育率下降及预期寿命延长, 人口老龄化席卷全球并呈加速发展之势^[1], 成为许多国家面临的重大挑战和众多学科研究的热点。老龄化地理学^[2]在20世纪70年代应运而生并快速发展, Warnes^[3]、Rowles^[2]、Haper等^[4]及Skinner等^[5]先后回顾了国外老龄化地理学的发展脉络; 高晓路等^[6]回顾和评价了20世纪90年代以来中国老龄化地理学的发展历程。老龄化地理学强调人口老龄化的空间属性, 视老龄化为特定空间环境背景下自然、社会、经济等要素综合作用的结果, 通过探讨老龄化的空间特征、区域差异及其演化过程, 分析老龄化的形成机制及区域效应。

国外关于人口老龄化空间特征及其影响机制的研究自20世纪70年代大量涌现, 揭示了人口转变过程、社会经济状况、社区居住环境、健康护理服务、人口迁移等对老龄化区域差异的影响。联合国自2002年开始发布《世界人口老龄化》系列年度报告, 刻画了全球区域间和国家间的老龄化差异及发展趋势, 指出与社会经济发展水平相关的生育率和死亡率是导致老龄化国际差异的主因, 国际人口迁移的影响则非常小^[7]。针对欧美发达国家人口老龄化区域差异的研究非常丰富, 人口迁移被认为是老龄化区域差异及变化的

收稿日期: 2019-02-03; 修订日期: 2020-05-24

基金项目: 国家社会科学基金项目(15BGL215); 湖北省自然科学基金创新群体项目(2016CFA027); 中央高校基本科研业务费项目(CCNU20TS034) [Foundation: National Social Science Foundation of China, No.15BGL215; Project for Creative Research Groups of Natural Science Foundation of Hubei Province, No.2016CFA027; Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.CCNU20TS034]

作者简介: 敖荣军(1974-), 男, 湖北老河口人, 教授, 博士生导师, 主要从事人口与区域可持续发展研究。
E-mail: aorongjun8600@163.com

主导因素^[8-14]。近年来针对发展中国家人口老龄化区域差异的研究开始出现, 人口转变过程的区域差异和人口迁移的年龄选择性被认为是主要驱动因素^[15-17]。20世纪90年代以来, 关于中国人口老龄化区域差异的研究成果迅速增加, 主要以省域^[18-21]、市域^[22]、县域^[23-28]、城市或城市群^[29-30]、城市内部街区^[31-35]等为空间尺度, 探讨中国人口老龄化的时空格局及其驱动因素。总体上看, 基础数据多来源于人口普查数据, 基于GIS的空间统计方法是定量分析人口老龄化时空格局的主要方法, 空间计量方法逐渐成为分析影响因素的主流方法。由于区域人口基础数据具有良好的可获得性, 研究者普遍强调应尽可能缩小空间尺度, 以更清晰地刻画人口老龄化时空格局的细节特征及规律^[28]。与国外研究相比, 国内对人口老龄化区域差异影响因素的探讨更为综合, 不仅考虑了由出生率与死亡率决定的人口转变过程的区域差异和人口迁移, 还同时考察经济增长、社会发展、政策安排、自然环境等因素的区域差异。

国内外地理学界在人口老龄化时空格局研究领域已经取得了巨大进展, 在基本理论、研究方法以及主要结论等方面也存在一定共识。但是, 当前研究仍存在重格局刻画轻机制分析的不足。尽管有研究认为区域人口老龄化的影响因素可以分为直接和间接两类, 直接因素导致老年人口数量增减和老龄化水平升降, 是塑造人口老龄化时空格局的内因, 间接因素通过影响直接因素而影响人口老龄化的时空特征^[6, 36], 但定量分析过程仍然只是没有差别地把所有因素引入模型。本文采用结构方程模型中的路径分析方法, 把影响因素分为直接和间接两类, 通过路径图和效应值分析各影响因素对中国县域人口老龄化的作用机制。

2 研究区域、方法与数据

2.1 研究区域

本文以中国大陆地区为研究区, 不含港澳台地区以及南海诸岛。中国自20世纪末进入老龄化社会, 老龄化进程远快于很多中低收入和高收入国家^[37]。2010年65岁及以上人口达到1.19亿人, 占总人口的8.87%, 较2000年提高了1.91个百分点; 2015年老年人口份额则较2010年提高1.60个百分点, 增加至1.44亿人。中国幅员辽阔, 自然地理环境和社会经济发展的地域差异显著。独特的人口老龄化进程以及鲜明的地理空间格局, 使得中国成为人口老龄化区域差异及其影响机制研究的理想案例区域。

本文以县为统计单元, 时间点分别为2000年和2010年。空间单元按照2010年的行政区划体系处理。考虑到社会经济数据的可获得性, 将部分地级市的市辖区归并为一个空间单元, 共形成2380个县域单元。根据行政区划网(www.xzqh.org)提供的行政区划变更信息, 调整2000年的县级行政区, 使之与2010年的空间单元一致。

2.2 研究方法

2.2.1 地理探测器 空间分异性检验是空间数据分析的必要环节^[38], 应当首先探测是否存在空间异质性, 从而确定使用全局模型还是局域模型。本文采用地理探测器分析老龄化率的空间分层异质性 (Spatial Stratified Heterogeneity, SSH) q 统计量, 表达式为:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (1)$$

式中: h 为人口老龄化的分层; L 为层数; N_h 和 N 分别为层 h 和全域的县区样本数; σ_h^2 和 σ^2 分别为层 h 和全域人口老龄化率的方差。 q 的值域为 $[0, 1]$, 值越大说明老龄化的空间分层异质性越明显^[38]。

2.2.2 结构方程模型 结构方程模型 (Structural Equation Model, SEM) 综合了方差分析、回归分析、路径分析和因子分析, 可以分析多因果的联系、潜变量的关系, 并能够模拟多因子的内在逻辑关系, 是非常重要的多元数据分析工具^[39]。本文暂未考虑潜变量, 只考虑外生变量和内生变量之间的路径关系。结构方程模型为:

$$y = By + \Gamma x + \zeta \quad (2)$$

式中: y 是内生变量的列向量; x 是外生变量的列向量; B 是内生变量间的关系, 由随机联系矩阵表示; Γ 是外生变量对内生变量的影响, 由直接随机效应矩阵表示; ζ 是结构方程的残差项, 反映 y 在方程中未能解释的部分^[40]。应用路径分析法, 通过路径图和效应值分析各影响因素对中国县域人口老龄化的作用机制。效应分解为直接效应、间接效应和总体效应, 每种效应代表各变量之间的作用方向和强度。结构方程模型的理论框架如图1所示。

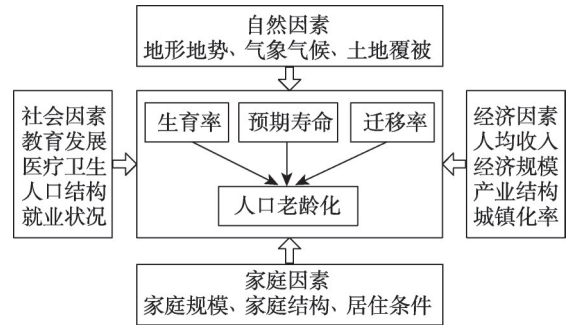


图1 中国县域人口老龄化影响机制的理论框架
Fig. 1 Theoretical framework for the influencing mechanism on regional ageing in China

封闭背景下, 区域人口老龄化是区域人口转变的直接结果, 人口转变过程直接决定于人口生育率和死亡率的变化。开放背景下, 区域人口年龄结构还会直接被区际人口迁移而改变。20世纪90年代以来, 随着社会经济的快速变化, 束缚人口迁移的政策和制度障碍逐渐被破除, 中国人口迁移规模持续扩大, 以收入和就业为目标的人口流动具有显著的年龄选择性, 其对区域人口年龄结构的直接影响是不容忽视的。因此, 生育率、预期寿命和迁移率被认为是区域人口老龄化的直接影响因素, 作为内生变量进入结构方程模型。社会经济、家庭状况以及自然环境等因素则主要通过影响生育率、预期寿命和迁移率而间接影响区域人口年龄结构, 是区域人口老龄化的间接影响因素, 作为外生变量进入结构方程模型。

2.3 数据来源及处理

人口老龄化水平以老龄化率 (AR), 即老年人口占总人口的比例衡量。按照国际惯例和学界共识, 以65岁及以上人口占总人口的百分比测度。老龄化率达到7%被认为是进入老龄化社会的基本标准。人口数据取自《2000年人口普查分县资料》和《中国2010年人口普查分县资料》, 数据统计口径均为常住人口。借鉴国内外研究成果, 考察社会发展、自然地理环境、家庭状况和居住条件、人口迁移等影响因素。其中, 家庭状况、人口迁移数据取自中国人口普查分县资料; 社会经济数据主要取自相应年份的《中国县域统计年鉴》和《中国区域经济统计年鉴》, 少量数据缺失省份, 依据省统计年鉴补齐; 自然地理环境数据取自国家科学数据共享工程地球系统科学数据共享平台。

由于总和生育率数据不能完整获得, 所以生育率 (FR) 以15~50岁或15~64岁妇女平均活产子女数量测度。预期寿命 (EL) 自行计算获得, 所需基础数据取自各省区人口普查资料。迁移率 (NM) 以净迁移人口占常住人口的百分比测度, 其中净迁移人口为常住人口与户籍人口的差值。社会因素分别以人口受教育程度、医疗卫生条件和人口民族结构衡量。其中, 人口受教育程度 (ED) 以大学及以上人口占6岁及以上人口总量的百分比测度, 医疗卫生条件 (MH) 以万人医疗机构床位数测度, 人口民族结构 (MP) 则以少数民族人口占常住人口的百分比测度。经济因素分别以人均收入水平和城镇化水平衡量, 其中, 人均收入水平 (AI) 以人均地区生产总值 (地区生产总值除以常住人口,

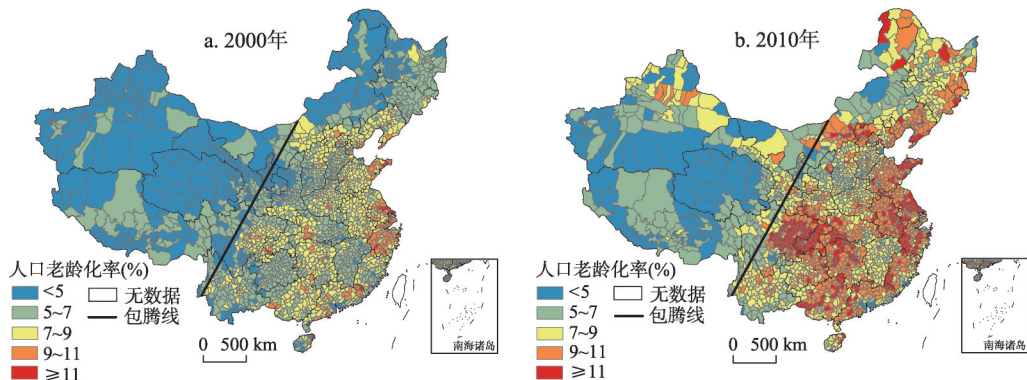
单位万元)测度,城镇化水平(UL)以城镇人口占常住人口总量的百分比测度。家庭状况分别以家庭结构和居住条件衡量,其中,家庭结构(FS)以三代户及以上家庭户数占全部家庭户数的百分比测度,居住条件(FD)以平均每个家庭户的住房面积测度。自然环境因素主要考虑气候适宜性和地形适宜性,前者以温热指数(HI)测度,温热指数越大,地区气候适宜性越差;后者以地形起伏度(TI)测度,地形起伏度越大,地形适宜性越差。计算方法参考了封志明等^[41]、唐焰等^[42]和封志明等^[43]的研究。

3 中国人口老龄化的时空格局

2000年中国2380个县区人口老龄化率的均值为6.72%,其中有1030个县区进入老龄化社会。2000—2010年中国人口老龄化进程加快,2380个县区中只有124个县区的老龄化率出现小幅下降,2010年研究区人口老龄化率的均值达到了8.73%,进入老龄化社会的县区增至1893个。其中,老龄化率在11%以上的县区由2000年的27个增加至351个。中国人口老龄化水平存在显著的区域差异,且呈扩大趋势。县域人口老龄化率的变异系数和基尼系数分别从2000年的3.8979和0.1425,扩大至2010年的3.9070和0.1436。

总体上看,中国人口老龄化水平的东南—西北分异较为明显(图2),内蒙古包头市至云南腾冲县是一条较为清晰的分界线(简称包腾线)。2000年包腾线以东区域集中了研究区内所有进入老龄化社会的县区(1032个),其中27个县区的老龄化率在11%以上,老年人口集中度为1.88,远高于该线以西区域的0.06。2010年包腾线以东区域集中了研究区内1893个进入老龄化社会县区中的1797个、351个老龄化率在11%及以上县区中的350个,老年人口集中度为1.87;尽管包腾线以西区域进入老龄化社会的县区数量大幅增加,但是老年人口集中度仅提高了0.01(表1)。另外,以包腾线为分界线,把全域分为两层,以地理探测器 q 统计量检验老龄化水平的空间分异性。2000年和2010年的 q 值分别为0.22和0.21,验证了中国人口老龄化的空间分异性,说明包腾线作为中国人口老龄化地域分异大势的分界线在统计学意义上是显著的。

2000年包腾线以西全域,包腾线以东的东北地区、云贵地区、陕晋豫交界地带以及鄂东—江西片区为人口老龄化率低值县区的连片集中区。包腾线以东形成了4个进入老龄化社会县区的连绵带或片区,即包头市向东经冀北延伸至辽东半岛的北方连绵带、山东半岛向南经豫东和苏浙延伸至闽北的东部沿海连绵带、粤东潮汕至桂西南一线向北经



注:该图基于国家基础地理信息中心网站下载的审图号为GS(2016)1549的标准地图制作,底图无修改。

图2 2000年和2010年中国人口老龄化率的县域分布

Fig. 2 Distribution of population ageing of China at county level in 2000 and 2010

表1 包腾线两侧区域老年人口集中度的比较

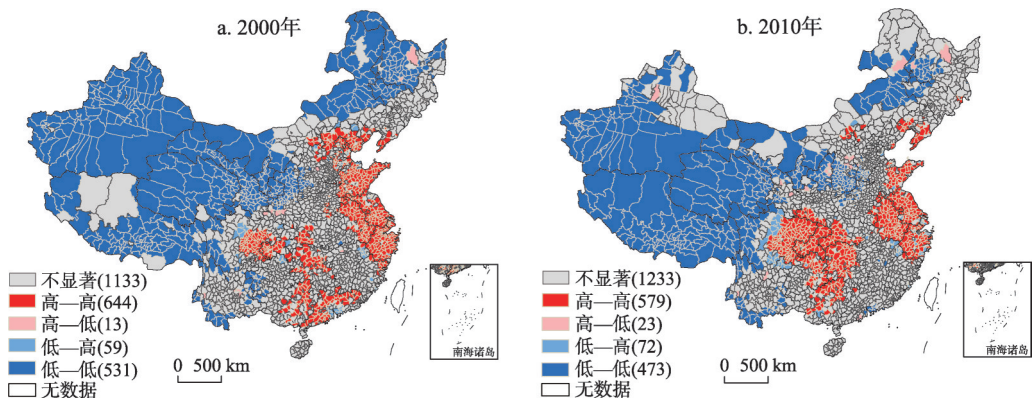
Tab. 1 Comparison of concentration of the elderly population on both sides of Baotou-Tengchong Line in China

指标	2000年		2010年	
	包腾线以西	包腾线以东	包腾线以西	包腾线以东
老龄化率7%及以上县区数(个)	0	1032	96	1797
老龄化率11%及以上县区数(个)	0	27	1	350
国土面积占比(%)	48.30	51.70	48.30	51.70
老年人口数量占比(%)	2.92	97.08	3.55	96.45
老年人口集中度	0.06	1.88	0.07	1.87

注：老年人口集中度=老年人口占比/国土面积占比。

湘东和鄂西延伸至陕西汉中的中部连绵带和川渝片区。其中，老龄化率在9%及以上的县区主要集中在山东半岛、长三角及浙江南部等地区。人口老龄化率居前列的县区依次为上海静安（17.70%）、上海黄浦（17.35%）、上海虹口（14.35%）和天津和平（14.26%）；最低的4个县区依次为青海茫崖（0.37%）、青海冷湖（0.50%）、广东深圳（1.23%）和青海大柴旦（1.24%）。中国人口老龄化水平的县域分布存在显著的空间关联性。2000年人口老龄化率县域分布的全域莫兰指数为0.3598，说明中国县域人口老龄化具有显著的空间集聚性，即老龄化率高的县区趋于相邻，老龄化率低的县区趋于相邻。局域空间关联指数（Local Indicators of Spatial Association, LISA）图（图3）很清晰地展示出东部环渤海、山东半岛至闽北、中部自两广北部至鄂西和川渝等4个老龄化率高值县区集聚区，东北地区的内蒙古省域和包腾线以西为老龄化率低值县区集聚区。

随着人口老龄化进程加快，至2010年，包腾线以东的4个进入老龄化社会的县区连绵带或片区显著扩张（图2）。东北地区人口老龄化水平普遍提高，导致中国北方老龄化率高值县区连绵带向北扩展，形成了自包头向东经冀北延伸至东三省和内蒙北端的中国北方老龄化率高值连绵带；东部沿海连绵带大幅扩展，形成涵盖山东半岛、豫东和赣苏浙闽的东部沿海老龄化率高值片区；中部连绵带和川渝片区大幅扩展连为一体，形成涵盖琼北、粤桂黔湘鄂川渝及陕南的中部老龄化率高值片区；云南人口老龄化水平普遍提高，形成云南老龄化率中值片区。4个老龄化率中高值连绵带或片区的交界地带，夹杂着一些老龄化率较低的县区。其中，陕晋豫交界、赣东北、川云黔交界和桂黔交界等地区人口老龄化率低值县区较为集中。另外，东北地区中西部、东南沿海的厦漳泉地区、



注：该图基于国家基础地理信息中心网站下载的审图号为GS(2016)1549的标准地图制作，底图无修改。

图3 2000年和2010年中国县域人口老龄化率的LISA地图

Fig. 3 LISA map of population ageing of China at county level in 2000 and 2010

潮汕地区、珠三角地区以及云南边境地区，一直是老龄化率低值县区集聚区。包腾线以西区域的人口老龄化水平普遍提高，尤其是北疆地区人口老龄化水平快速提高，直接形成了一条自甘肃定西沿河西走廊向西延伸至新疆石河子的西部地区老龄化率中值连绵带。人口老龄化率居前列的县区依次为江苏如东（19%）、上海崇明（17.9%）、江苏启东（17.89%）和江苏海安（17.7%）等，最低的4个县区依次为青海茫崖（0.24%）、青海冷湖（0.37%）、青海大柴旦（0.91%）和广东深圳（1.79%）。总体上看，2010年人口老龄化率高值县区与低值县区交错夹杂分布的现象较2000年更为突出，人口老龄化县域分布的空间集聚性降低，全域莫兰指数降低至0.3148。中国东部环渤海的老龄化率高值集聚区破碎化、山东半岛至闽北的老龄化率高值集聚区向北收缩向西扩展、中部高值集聚区向西北收缩与向四周扩展的川渝高值集聚区连为一个老龄化率高值集聚区；包腾线以西区域及东北地区中西部仍为显著的老龄化率低值集聚区（图3）。

4 中国人口老龄化的影响机制

基于SPSS 23.0软件中的AMOS 23.0分析模块，采用极大似然法拟合结构方程模型。由于以包腾线为界线，中国县域人口老龄化分布存在显著的空间分层异质性，为了缓解统计混杂对模型拟合结果的影响，对包腾线东部和西部分别施用模型。其中，东部模型纳入2000年和2010年两个年份共4114个观测样本，根据模型修正指数和理论判断，向模型中增加残差项之间的共变关系，最后形成各影响因素对中国县域人口老龄化的作用机制和传导路径（图4）。

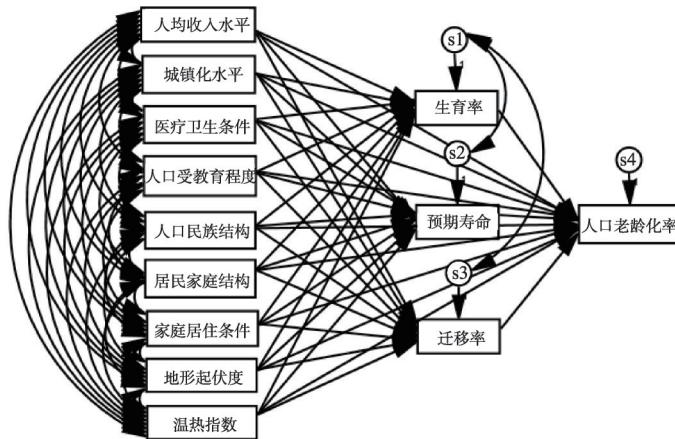


图4 老龄化影响因素对中国县域人口老龄化的作用机制和传导路径

Fig. 4 Mechanism and pathway of the factors influencing regional ageing at county level in China

表2列出了东部模型适配度的检验结果，主要拟合指标卡方值为2.423 ($p = 0.120$)，自由度为1，卡方自由度比为2.423；近似误差均方根为0.019，小于0.05；调整的拟合优度指数为0.992，规范拟合指数为1，增值指数为1，不规范拟合指数为0.995，均大于0.9并接近或等于1。整体模型适配度高，说明东部模型的拟合效果非常好。西部模型纳入2000年和2010年两个年份共646个观测样本，在剔除人口受教育程度、人口民族结构和地形起伏度等变量后，通过了适配度检验（表2）。

表3和表4分别列出了包腾线东部模型和西部模型中各变量对县域人口老龄化进程的影响。其中，内生变量对人口老龄化的直接效应即为总体效应，影响方向和强度根据标

表2 结构方程模型的拟合优度检验

Tab. 2 Goodness-of-fit-test for the SEM

指标	统计量	适配标准或临界值	包腾线东部模型	包腾线西部模型
绝对适配度 指数	卡方值(CMIN)	$P > 0.05$, 越小越好	2.423($P = 0.120$)	2.576($P = 0.108$)
	卡方/自由度(CMIN/DF)	0~3	2.423	2.576
	近似误差均方根(RMSEA)	< 0.05 , 越小越好	0.019	0.049
	拟合优度指数(GFI)	> 0.90 , 越接近于1	1.000	0.999
	调整的拟合优度指数(AGFI)	> 0.90 , 越接近于1	0.992	0.956
增值适配度 指数	规范拟合指数(NFI)	> 0.90 , 越接近于1	1.000	0.999
	增值指数(IFI)	> 0.90 , 越接近于1	1.000	0.999
	不规范拟合指数(TLI)	> 0.90 , 越接近于1	0.995	0.964

准化回归系数估计值判断。可以看到：①人口净迁入显著降低人口老龄化水平，是包腾线东部县域人口老龄化进程影响强度最大的内生因素。1978年以来，中国人口区际迁移具有显著的年龄选择性，县域净迁入人口越多，人口年龄结构越年轻，老龄化程度越低。相反，县域净迁出人口越多，人口年龄结构的老龄化程度越高。东南沿海的厦漳泉、潮汕及珠三角等地区的老龄化率持续维持较低水平，直接原因就在于规模庞大的净迁入人口；而川渝、豫东、鄂东、陕南、黔东以及闽北等地区则因人口的外迁规模较大，一直是老龄化率的高值区。②预期寿命延长显著推高人口老龄化水平，并是包腾线西部县域人口老龄化进程影响强度最大的内生因素。③生育率对县域人口老龄化影响的空间分异性突出，包腾线东部县域生育率下降显著推高老龄化率，西部县域则显著降低老龄化率。黑吉辽东部向南一直延伸至长三角的东部沿海以及川渝等地区较低的生育率是其老龄化率较高的重要原因之一；而陕晋豫交界、赣东北、川云黔交界和桂黔交界等地区则因较高的生育率，成为老龄化率的低值集聚区。

外生变量既直接影响人口老龄化，又通过影响内生变量间接影响人口老龄化，故其总体效应分解为直接效应与间接效应。其中，直接效应为该变量对老龄化率的标准化回归系数估计值，间接效应则为该变量对预期寿命、迁移率和生育率的直接效应分别与这3个内生变量对老龄化率的直接效应的乘积之和。从表3和表4的拟合结果看，东部模型各外生变量的显著性水平较高，西部模型中只有人均收入和居住条件两个外生变量通过了显著性检验，并且许多外生变量的影响方向与东部模型的拟合结果不尽一致，凸显了外生因素及其对县域人口老龄化进程影响的空间分异性。

(1) 经济因素对县域人口老龄化的影响。①人均收入对人口老龄化影响的空间分异性突出。包腾线东部县域人均收入对人口老龄化的总体效应显著为正，其中直接效应显著为正且强于显著为负的间接效应。在间接效应构成上，人均收入增加通过提高人口净迁移率而降低老龄化率的作用强度 $[0.157 \times (-0.616) = -0.097]$ 最大。包腾线西部县域人均收入对人口老龄化的总体效应显著为负，其中直接效应显著为负且强于显著为正的间接效应。在间接效应构成上，人均收入增加通过促进人口预期寿命延长而推高老龄化率的作用强度 $[0.192 \times 0.440 = 0.084]$ 最大。②城镇化水平对人口老龄化的总体效应为负。包腾线东部县域城镇化水平对人口老龄化的负向效应通过了显著性检验，其中间接效应显著为负且强于显著为负的直接效应。在间接效应构成上，城镇化通过提高净迁移率而降低老龄化率的作用强度 $[0.404 \times (-0.616) = -0.249]$ 最大。尽管西部模型中城镇化变量的回归系数未通过显著性检验，但也显示了城镇化水平对老龄化率的负向效应。③总体上看，人均收入提高促进县域人口老龄化水平提高，而城镇化水平提高则降低县域人口老龄化水平。

表3 县域人口老龄化影响因子的直接效应、间接效应和总体效应(包腾线东部模型)

Tab. 3 Direct, indirect and total effects of influencing factors on regional ageing (Local model of east of B-T Line)

影响因素	效应	生育率	预期寿命	净迁移率	老龄化率
生育率	总体	-	-	-	-0.302*
预期寿命	总体	-	-	-	0.371*
迁移率	总体	-	-	-	-0.616*
人均收入水平	总体	0.062*	0.147*	0.157*	0.022*
	直接	0.062*	0.147*	0.157*	0.083*
	间接	-	-	-	-0.061*
城镇化水平	总体	-0.375*	0.146*	0.404*	-0.137*
	直接	-0.375*	0.146*	0.404*	-0.056*
	间接	-	-	-	-0.081*
医疗卫生条件	总体	-0.083*	-0.009	-0.150*	0.136
	直接	-0.083*	-0.009	-0.150*	0.022
	间接	-	-	-	0.114
人口受教育程度	总体	-0.194*	0.216*	0.204*	0.051**
	直接	-0.194*	0.216*	0.204*	0.038**
	间接	-	-	-	0.013**
人口民族结构	总体	0.096*	-0.159*	-0.044**	-0.024*
	直接	0.096*	-0.159*	-0.044**	0.037*
	间接	-	-	-	-0.060*
居民家庭结构	总体	-0.012	-0.010	0.094*	-0.065
	直接	-0.012	-0.010	0.094*	-0.007
	间接	-	-	-	-0.058
家庭居住条件	总体	-0.015	0.248*	-0.288*	0.536*
	直接	-0.015	0.248*	-0.288*	0.262*
	间接	-	-	-	0.274*
地形起伏度	总体	0.204*	-0.241*	0.037**	-0.074*
	直接	0.204*	-0.241*	0.037**	0.100*
	间接	-	-	-	-0.174*
温热指数	总体	-0.063*	0.289*	-0.082*	-0.014*
	直接	-0.063*	0.289*	-0.082*	-0.191*
	间接	-	-	-	0.177*

注：数值均为标准化的回归系数估计值；*表示显著性水平为1%，**表示显著性水平为5%。

(2) 社会因素对县域人口老龄化的影响。① 医疗卫生条件对人口老龄化具有正向效应，并主要通过间接效应推高县域人口老龄化水平。在间接效应构成上，包腾线东部县域医疗卫生条件改善通过降低人口净迁移率而推高老龄化率的作用强度 $[(-0.150) \times (-0.616) = 0.092]$ 最大，西部县域医疗卫生条件改善通过促进预期寿命延长而推高老龄化率的作用强度 $[0.057 \times 0.440 = 0.025]$ 最大。② 人口受教育程度对人口老龄化的总体效应显著为正，其中直接效应显著为正且强于显著为正的间接效应。在间接效应构成上，人口受教育程度提高通过提高人口净迁移率而降低老龄化率的作用强度 $[0.204 \times (-0.616) = -0.126]$ 最大。③ 人口民族结构对人口老龄化的总体效应显著为负，并主要通过显著为负的间接效应促进县域老龄化水平下降。在间接效应构成上，少数民族人口占比提升通过约束人口预期寿命延长而降低老龄化率的作用强度 $[(-0.159) \times 0.371 = -0.059]$ 最大。④ 总体上看，医疗卫生条件改善和人口受教育程度提高推高人口老龄化，且影响强度大于少数民

表4 县域人口老龄化影响因子的直接效应、间接效应和总体效应(包腾线西部模型)

Tab. 4 Direct, indirect and total effects of influencing factors on regional ageing (Local model of west of B-T Line)

影响因素	效应	生育率	预期寿命	净迁移率	老龄化率
生育率	总体	-	-	-	0.114**
预期寿命	总体	-	-	-	0.440*
迁移率	总体	-	-	-	0.027
人均收入水平	总体	0.004	0.192*	0.027	-0.010**
	直接	0.004	0.192*	0.027	-0.096**
	间接	-	-	-	0.086**
城镇化水平	总体	-0.485*	0.217*	0.003	-0.052
	直接	-0.485*	0.217*	0.003	-0.092
	间接	-	-	-	0.040
医疗卫生条件	总体	-0.001	0.057	0.085	0.005
	直接	-0.001	0.057	0.085	-0.022
	间接	-	-	-	0.027
居民家庭结构	总体	0.103**	-0.014	0.116**	-0.063
	直接	0.103**	-0.014	0.116**	-0.071
	间接	-	-	-	0.009
家庭居住条件	总体	-0.178*	0.306*	0.016	0.361*
	直接	-0.178*	0.306*	0.016	0.246*
	间接	-	-	-	0.115*
温热指数	总体	-0.298*	-0.156*	-0.032	-0.045
	直接	-0.298*	-0.156*	-0.032	0.059
	间接	-	-	-	-0.104

注：数值均为标准化的回归系数估计值；*表示显著性水平为1%，**表示显著性水平为5%。

族人口占比对人口老龄化的降低效应。据此判断，社会发展水平提高促进县域人口老龄化水平提高。

(3) 家庭状况对县域人口老龄化的影响。① 居民家庭结构对人口老龄化的影响未通过显著性检验，说明家庭扩展并未对县域人口老龄化水平产生显著影响。② 家庭居住条件改善总体上显著推高县域人口老龄化水平。其中，包腾线东部县域家庭居住条件对人口老龄化的间接效应强于直接效应，其通过降低人口净迁移率而推高老龄化率的间接效应强度 $[(-0.288) \times (-0.616) = 0.177]$ 最大；西部县域家庭居住条件对人口老龄化的直接效应强于间接效应，其通过促进人口预期寿命延长而推高老龄化率的间接效应强度 $[0.306 \times 0.440 = 0.135]$ 最大。

(4) 自然环境因素对县域人口老龄化的影响。① 地形起伏度对包腾线东部县域人口老龄化具有显著的负向效应，其中间接效应显著为负且强于显著为正的直接效应。在间接效应构成上，地形起伏度增大通过约束人口预期寿命延长而降低老龄化率的作用强度 $[(-0.241) \times 0.371 = -0.089]$ 最大。包腾线西部模型中虽未纳入地形起伏度变量，但是可以推测的是该区域地形起伏度普遍较高，在很大程度上导致了这些地区较低的人口老龄化水平。② 温热指数对包腾线东部县域人口老龄化具有显著的负向效应，其中直接效应为负且强于显著为正的间接效应。在间接效应构成上，温热指数提高通过促进人口预期寿命延长而推高老龄化率的作用强度 $[0.289 \times 0.371 = 0.107]$ 最大。尽管包腾线西部模型中的温热指数变量未通过显著性检验，但其值为负的结果也显示了对老龄化率的负向效应。包腾线以西、云南南缘、两广以南区域以及东北地区中西部等较高的温热指数，在很大

程度上导致了这些地区较低的人口老龄化水平。③地形起伏度和温热指数是表征自然环境舒适性的负向指标,二者对老龄化率显著的负向效应意味着,舒适的自然环境是县域人口老龄化的促进因素。

5 结论与讨论

5.1 结论

中国县域人口老龄化存在显著的区域差异。内蒙古包头市至云南腾冲县是中国县域人口老龄化区域差异较为清晰的分界线(简称包腾线),其东南侧人口老龄化的程度普遍高于西北侧。2000年所有进入老龄化社会的县区都在包腾线东南侧;2010年1893个进入老龄化社会县区中的1797个、351个老龄化率在11%及以上县区中的350个集中在包腾线东南侧。由于县域人口老龄化进程的不均衡性,中国人口老龄化的区域差异呈扩大之势。至2010年,包腾线东南侧的3个老龄化率高值县区集中区(带)更加清晰,即东北地区东部和南缘、东部沿海自山东半岛向南至闽北、中部自两广向北至川渝;老龄化率低值县区夹杂其间。包腾线西北侧自甘肃定西沿河西走廊向西延伸正在形成一条老龄化率中高值带;其南仍为广阔的老龄化率低值片区。

中国县域人口老龄化影响因素及过程机制存在显著的空间分异性。预期寿命、生育率和迁移率是中国县域人口老龄化进程的直接因素,其中,迁移率和预期寿命分别是包腾线东部和西部县域人口老龄化进程影响强度最大的直接因素。社会经济、家庭状况和自然环境等则是中国县域人口老龄化的外生因素,对县域人口老龄化进程影响的空间分异性更为突出。总体上看,人均收入水平提高、医疗卫生条件改善、人口受教育程度提高、居住条件改善以及自然环境舒适性提高等都会推高县域人口老龄化水平,城镇化水平提高则促进县域人口老龄化水平下降。

5.2 讨论

中国幅员辽阔,自然环境及社会经济地理分布复杂,由此导致的县域人口老龄化水平的空间分异性不容忽视。通过观察进入老龄化社会县区的地域分布、老年人口的相对集中度以及人口老龄化率县域分布的空间自相关状况,本文提出包腾线是中国县域人口老龄化地域分异大势的分界线,并对其进行了空间分层异质性探测。该线的显著性尚需更加规范和全面的统计检验,是否具有稳定性也需要基于对中国县域人口老龄化率更长时段变化过程的观察才可能有定论。尽管关于人口老龄化时空格局的研究已经非常丰富,但仍有必要深入探讨,理清过程机制,以更好地为科学决策服务。相对于其他的实证分析方法,路径分析能够更清晰地梳理区域人口老龄化演化发展的复杂过程。

参考文献(References)

- [1] WHO. World Report on Ageing and Health. Geneva: World Health Organization, 2015.
- [2] Rowles G D. The geography of ageing and the aged: Towards an integrated perspective. *Progress in Human Geography*, 1986, 10(4): 511-539.
- [3] Warnes A M. Towards a geographical contribution to gerontology. *Progress in Human Geography*, 1981, 5(3): 317-341.
- [4] Harper S, Laws G. Rethinking the geography of ageing. *Progress in Human Geography*, 1995, 19(2): 199-221.
- [5] Skinner M W, Cloutier D, Andrews G J. Geographies of ageing: Progress and possibilities after two decades of change. *Progress in Human Geography*, 2015, 39(6): 776-799.
- [6] Gao Xiaolu, Wu Danxian, Xu Zening, et al. A review and framework setting of geographical research on aging in China. *Progress in Geography*, 2015, 34(12): 1480-1494. [高晓路, 吴丹贤, 许泽宁, 等. 中国老龄化地理学综述和研究框架构建. *地理科学进展*, 2015, 34(12): 1480-1494.]

- [7] United Nations. World Population Ageing 2015. New York: United Nations, 2015.
- [8] Golant S M. Residential concentrations of the future elderly. *The Gerontologist*, 1975, 15: 16-23.
- [9] Flynn C B. General versus aged interstate migration, 1965-1970. *Research on Aging*, 1980, 2(2): 165-176.
- [10] Law C M, Warnes A M. The changing geography of the elderly in England and Wales. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 1976, 4(1): 453-471.
- [11] Kim S. Intra-regional residential movement of the elderly: Testing a suburban-to-urban migration hypothesis. *Annals of Regional Science*, 2011, 46(1): 1-17.
- [12] Goodman A C. Using Lorenz Curves to characterise urban elderly populations. *Urban Studies*, 1987, 24(1): 77-80.
- [13] Rogers A, Watkins J F, Woodward J A. Interregional elderly migration and population redistribution in four industrialized countries. *Research on Aging*, 1990, 12(3): 251-293.
- [14] Moore E G, Pacey M A. Geographic dimensions of aging in Canada 1991-2001. SEDAP Research Paper No.97, 2003.
- [15] Watkins J F, Ulack R. Migration and regional population aging in the Philippines. *Journal of Cross-Cultural Gerontology*, 1991, 6(4): 383-411.
- [16] Kurek S. Double transitions? Regional patterns of population ageing in Poland. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, 2011, 93(2): 163-184.
- [17] Kerbler B. Population aging in Slovenia: A spatial perspective. *Acta geographica Slovenica*, 2015, 55(2): 303-317.
- [18] Li Ribang, Wang Wuyi, Tan Jian'an, et al. The development stages and trend of population ageing and its regional differences in China. *Geographical Research*, 1999, 18(2): 113-121. [李日邦, 王五一, 谭见安, 等. 我国人口老龄化发展的阶段、趋势和区域差异. *地理研究*, 1999, 18(2): 113-121.]
- [19] Yuan Jun, Wu Dianting, Wu Zhengzheng. Analysis on regional disparity and contributing factors of rural population aging in China. *Chinese Journal of Population Science*, 2007(3): 41-47. [袁俊, 吴殿廷, 吴铮争. 中国农村人口老龄化的空间差异及其影响因素分析. *中国人口科学*, 2007(3): 41-47.]
- [20] Zhao Ruyun, Liu Chang, Zhang Feng. Spatial econometric research on regional spillover and distribution difference of population aging in China. *Population Research*, 2012, 36(2): 71-81. [赵儒煜, 刘畅, 张锋. 中国人口老龄化区域溢出与分布差异的空间计量经济学研究. *人口研究*, 2012, 36(2): 71-81.]
- [21] Chen Minghua, Hao Guocai. Research on regional difference decomposition and influence factors of population aging in China. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(4): 136-141. [陈明华, 郝国彩. 中国人口老龄化地区差异分解及影响因素研究. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(4): 136-141.]
- [22] Zhao Dongxia, Han Zenglin, Wang Li. The spatial pattern of aging population distribution and its generating mechanism in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(10): 1762-1775. [赵东霞, 韩增林, 王利. 中国老年人口分布的集聚格局及其形成机制. *地理学报*, 2017, 72(10): 1762-1775.]
- [23] Lin Lin, Ma Fei. Spatial distribution and trends of the aging of population in Guangzhou. *Geographical Research*, 2007, 26(5): 1043-1054. [林琳, 马飞. 广州市人口老龄化的空间分布及趋势. *地理研究*, 2007, 26(5): 1043-1054.]
- [24] Li Yang, Liu Huijun, Jin Fengjun, et al. Spatiotemporal transition of the aging population based on ESDA-GIS in Beijing City. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(11): 131-138. [李杨, 刘慧君, 金凤君, 等. 北京市人口老龄化的时空变化特征. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(11): 131-138.]
- [25] Zhang Kaizhou, Chen Nan. Characteristics of spatial-temporal evolution in population aging and driving mechanism at county level in Fujian Province during 1990-2010. *Progress in Geography*, 2014, 33(5): 605-615. [张开洲, 陈楠. 1990—2010年福建省县域人口老龄化时空演变特征及其驱动机制. *地理科学进展*, 2014, 33(5): 605-615.]
- [26] Kang Jiangjiang, Ding Zhiwei, Zhang Gaisu, et al. Multi-scale spatio-temporal pattern of aging population in central plains region. *Economic Geography*, 2016, 36(4): 29-37. [康江江, 丁志伟, 张改素, 等. 中原地区人口老龄化的多尺度时空格局. *经济地理*, 2016, 36(4): 29-37.]
- [27] Wang Lucang, Wu Rongwei. A study on spatial-temporal pattern of population ageing and its factors in China: Based on county-scale examination. *Population Science of China*, 2016 (4): 74-84. [王录仓, 武荣伟. 中国人口老龄化时空变化及成因探析: 基于县域尺度的考察. *中国人口科学*, 2016(4): 74-84.]
- [28] Wang Lucang, Wu Rongwei, Liu Haimeng, et al. Spatial patterns and regional differences of population ageing in China based on the county scale. *Progress in Geography*, 2016, 35(8): 921-931. [王录仓, 武荣伟, 刘海猛, 等. 县域尺度下中国人口老龄化的空间格局与区域差异. *地理科学进展*, 2016, 35(8): 921-931.]
- [29] Yu Taofang. China's aging population and its spatial features in city areas (2000-2010). *Urban Planning Forum*, 2013, (6): 58-66. [于涛方. 中国城市老龄化空间特征及相关因素分析. *城市规划学刊*, 2013(6): 58-66.]

- [30] Wang Lucang, Wu Rongwei, Li Wei. Spatial-temporal patterns of population aging on China's urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1001-1016. [王录仓, 武荣伟, 李巍. 中国城市群人口老龄化时空格局. *地理学报*, 2017, 72(6): 1001-1016.]
- [31] Yi Chengdong, Zhang Chun, Wu Shuping, et al. Spatial restructuring of senior population in Beijing from 2000-2010. *Urban Development Studies*, 2014, 21(2): 66-71. [易成栋, 张纯, 吴淑萍, 等. 2000—2010年北京市老年人口空间分布及其变动研究. *城市发展研究*, 2014, 21(2): 66-71.]
- [32] Zhou S H, Xie M, Kwan M P. Ageing in place and ageing with migration in the transitional context of urban China: A case study of ageing communities in Guangzhou. *Habitat International*, 2015, 49: 177-186.
- [33] Xu Xin, Zhao Yuan, Guo Aimei. Spatial distribution of the elderly population in Nanjing based on the street scale. *Human Geography*, 2016, 31(6): 88-94, 129. [许昕, 赵媛, 郭爱妹. 基于街道尺度的南京市老年人口空间分布演变研究. *人文地理*, 2016, 31(6): 88-94, 129.]
- [34] Xie B, Zhou J, Luo X. Mapping spatial variation of population aging in China's mega cities. *Journal of Maps*, 2016, 12(1): 181-192.
- [35] Zhou Chunshan, Tong Xinmei, Wang Juehan, et al. Spatial differentiation and the formation mechanism of population aging in Guangzhou in 2000-2010. *Geographical Research*, 2018, 37(1): 103-118. [周春山, 童新梅, 王珏晗, 等. 2000—2010年广州市人口老龄化空间分异及形成机制. *地理研究*, 2018, 37(1): 103-118.]
- [36] Wang Xinxian, Gao Xiangdong, Tao Shuguo. Research on the spatial distribution and evolution characteristics of aging population in Shanghai. *Shanghai Journal of Economics*, 2016(8): 120-129. [王新贤, 高向东, 陶树果. 上海市人口老龄化的空间分布及演化特征研究. *上海经济研究*, 2016(8): 120-129.]
- [37] WHO. China Country Assessment Report on Ageing and Health. Geneva: World Health Organization, 2015.
- [38] Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. [王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [39] Zhang Wenjia, Chai Yanwei. Theories and confirmed model of urban resident's travel demand: Considering intra-household interaction. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(12): 1246-1256. [张文佳, 柴彦威. 基于家庭的居民出行需求理论与验证模型. *地理学报*, 2008, 63(12): 1246-1256.]
- [40] Cao Xiaoshu, Lin Qiang. A SEM-based study on urban community resident's travel behavior in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 167-177. [曹小曙, 林强. 基于结构方程模型的广州城市社区居民出行行为. *地理学报*, 2011, 66(2): 167-177.]
- [41] Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao, et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(10): 1073-1082. [封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性. *地理学报*, 2007, 62(10): 1073-1082.]
- [42] Tang Yan, Feng Zhiming, Yang Yanzhao. Evaluation of climate suitability for human settlement in China. *Resources Science*, 2008, 30(5): 648-653. [唐焰, 封志明, 杨艳昭. 基于栅格尺度的中国人居环境气候适宜性评价. *资源科学*, 2008, 30(5): 648-653.]
- [43] Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao, et al. Establishment and application of human settlements environment index model (HEI) based on GIS. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(12): 1327-1336. [封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 基于GIS的中国人居环境指数模型的建立与应用. *地理学报*, 2008, 63(12): 1327-1336.]

Influencing mechanism of regional ageing in China based on the Structural Equation Model

AO Rongjun^{1,2}, CHANG Liang^{1,2}

(1. Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation of Hubei Province, Wuhan 430079, China;

2. Institute of Sustainable Development, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Since the 1970s, great progress has been made in research on the spatio-temporal pattern of population ageing at multiple spatial scales by both domestic and foreign scholars. However, the analysis of the process mechanism of regional ageing is still insufficient. Based on the county-scale data in 2000 and 2010 censuses, the spatio-temporal pattern of population ageing is statistically analyzed. Moreover, the Structural Equation Model (or SEM) is developed to explore the path relationship between various variables. Consequently, the influencing mechanism of regional ageing process is thoroughly revealed. The main results are as follows. Firstly, the line from Baotou City of Inner Mongolia autonomous region to Tengchong County of Yunnan province (or BT Line) is a geographical demarcation of regional ageing disparities in China. Southeast of the BT Line witnesses contiguous areas of higher ageing counties which interspersed with lower ageing counties, whereas northwest of the BT Line is a continuous area of lower ageing counties with just one middle-level ageing belt located in the north margin. Secondly, the fitting results of SEM interpret the influencing mechanism of regional ageing disparities in China. Thirdly, life expectancy, fertility and migration are three endogenous factors of regional ageing process. Thereinto, life expectancy has significantly positive effect, while fertility and migration have significantly negative effects on regional ageing. Lastly, geographical environment has significant direct and indirect effects on regional ageing in China. In general, the income increase, social progress, and the improvement of living conditions and natural environmental quality would enhance regional ageing level, otherwise the improvement of urbanization level would decrease regional ageing level.

Keywords: population ageing; influencing mechanism; Structural Equation Model (SEM); path analysis; counties in China