

城市多中心结构与生态福利绩效

邹璇 段夏磊

(湖南大学经济与贸易学院, 湖南省长沙市, 410006)

摘要: 当前中国大中城市人口规模不断扩张, 受制于资源和环境的刚性约束, 城市人口规模过大带来的城市问题凸显。城市多中心结构通过引导人口、企业向不同中心分散的方式, 为生产和生活开拓了新空间, 提供了当前大中城市规模扩张问题的解决方案。但城市多中心结构作为城市空间发展的重要战略, 其影响却一直存在较大争议。本文从“强可持续发展”理念和生态福利观出发, 提供了来自中国 35 个大中城市的多中心结构对生态福利绩效影响的实证检验, 并探索了城市多中心结构影响生态福利绩效的内在机制, 为指导中国大中城市未来空间发展和可持续发展提供基础性依据。研究发现: 第一, 在中国大中城市, 城市多中心结构有助于提高城市生态福利绩效。第二, 不同区域, 城市多中心结构对生态福利绩效的影响不同。中西部城市的多中心结构影响大于东部城市, 生态中西部城市的多中心结构的影响同样大于生态东部城市。第三, 城市多中心结构影响生态福利绩效的主要途径为: 其一, 人口规模和互联网发展对城市多中心结构影响生态福利绩效的过程存在正向调节作用。其二, 城市多中心结构通过优化产业结构、促进要素流动和降低污染排放三个中介效应提高生态福利绩效。

关键词: 城市多中心结构 生态福利绩效 调节效应 中介效应

中图分类号: F061.5 **文献标识码:** A

一、引言

改革开放以来中国经济高速发展的同时, 环境污染、资源消耗等生态负面问题也不容忽视。生态系统脆弱、环境承载压力较大, 当前中国社会发展受到来自资源和环境的双约束, 制约了整体福利水平的有效提升。与此同时, 党的十九大报告明确提出“生态文明建设是中华民族永续发展的千年大计”, “绿水青山就是金山银山”理念被写入党章, 生态文明也被纳入宪法。注重人与自然和谐共生的可持续发展理念成为当前中国的核心议题之一。而随着可持续发展观的演进, 可持续发展不再单纯意味着经济增长, 更是表征人类福利水平的提高(Li et al., 2019a)^[1]。所以, 当前中国亟需破除环境和资源对可持续发展的制约, 追求以更少的生态投入来支持经济社会的发展, 提高人民的福利。本文以此引入生态福利绩效概念, 即由单位自然资源投入或生态投入所形成的社会福利产出, 作为可持续发展更广义的延伸, 反映生态资源转化为社会福利水平的能力。因而如何在生态承载力范围内为居民实现福利水平最大化, 即生态福利绩效的提高, 也就成为当前生态文明建设和可持续发展的根本要求和必然选择(诸大建和张帅, 2014)^[2]。

近年来中国城镇化进程也在不断加速推进。而随着中国城镇化的深入发展, 大规模的人口集聚和快速扩张的城市空间结构的现象凸显。城市单中心结构在达到一定规模后, 受限于生态承载能力, 城市开始出现结构性的集聚不经济现象, 如交通拥堵, 污染等城市病问题, 大大降低了人民的福利水平。由单纯的“规模扩张”转向城市内部空间结构的调整成为当前大城市空间发展的重心。在此过程中, 构建城市多中心结构以提高城市承载力, 成为平衡发展和缓解大城市病的两全之策。城市多中心结构被广泛作为空间规划策略的核心。十四五规划明确提及要有序疏解中心城区相关功能、资源和设施, 实现城市多中心发展。从单中心向多中心演进, 成为当前中国大中型城市发展的普遍趋势(魏守华等, 2016)^[3]。

城市多中心结构作为城市空间发展的重要战略, 从已有文献来看却存在较大争议。当前已有文献多对城市多中心结构的经济绩效、生态绩效进行检验, 但都未能得到统一的结论。关于多中心结构的经济绩效成果较多, 多中心结构的生态绩效也已经得到学者关注, 相关实证研究较少且均未能详细阐明二者之间的影响机制。而城市作为实现生态文明建设的核心载体, 城市发展的最终目标是提升人类福利水平。城市多中心结构作为当前城市空间发展的重要战略, 其绩效评价应当以生态福利为标准, 检验城市多中心结构是否可以达到促进城市可

持续发展和改善城市居民福利的最终目的。

鉴于此,本文基于中国 35 个大中城市,主要探究城市多中心结构对生态福利绩效的影响机制。从生态福利视角出发,遵循以福利提升为核心目标的质量性发展观,分析城市多中心结构对单位生态投入所产生的社会福利价值的影响。试图回答以下两个问题:第一,城市多中心结构是否影响生态福利绩效?第二,城市多中心结构如何影响生态福利绩效?

二、文献综述

城市多中心结构的影响尚有争议,已有研究多从城市多中心结构经济绩效和生态绩效两个维度进行评估,结论未能统一,部分学者认为城市多中心结构可以有助于经济绩效和生态绩效提高,而另一部分学者则提出城市多中心结构并不能提高城市经济绩效和生态绩效,甚至有学者认为城市多中心结构对经济绩效和生态绩效不产生影响。不同学者得出研究结论相差甚大,引发对城市多中心结构的质疑。

(一) 城市多中心结构对经济绩效影响的相关研究

城市多中心结构对经济绩效的影响一直未有定论。越来越多的研究评估了城市多中心结构和城市单中心结构对经济绩效的影响。尽管一些研究发现其并不存在相关性,但大多数研究都支持城市空间结构的经济绩效存在,部分学者认为城市单中心结构促进经济绩效提升,而另一部分学者则认为城市多中心结构更有利于经济绩效提升。

部分学者认为城市单中心结构促进经济绩效提高。孙斌栋和李琬(2016)^[4]以 2010 年 287 个地级及以上城市作为实证样本,得出城市单中心结构的经济绩效更好。Li et al. (2019)^[5]分析城市空间结构对中国地级市劳动生产率的影响中,发现由于集聚经济放大了城市单中心结构的正面效应,城市单中心结构下的劳动生产率更高。Li et al. (2018)^[6]通过 2000-2010 年的夜间灯光数据对县域城市空间结构进行测度,回归模型显示城市单中心结构的劳动生产率更高。刘修岩等(2017)^[7]则使用了 2000-2013 年夜间灯光数据,对中国地级市的多中心结构的经济效率进行验证,发现城市单中心结构更加有助于经济效率的提升。

另有部分学者则认为城市多中心结构有助于经济绩效的提升。魏守华等(2016)^[3]以 1997-2013 年中国 286 个城市为研究对象,发现城市空间结构优化的过程中,服务业在城市中心集聚的同时,制造业在城市次中心集聚。上述多中心的集聚方式,有助于降低通勤成本并有效利用集聚经济优势,从而促进生产率的提高。城市扩张过程中可以通过运用多中心集聚来控制水平的蔓延以提升城市整体运行效率。Zhang et al. (2017)^[8]基于 2008 年第二次全国经济普查中 286 个地级市的就业数据,发现城市多中心结构可以通过降低集聚不经济的负面效应,同时发挥集聚经济的正面效应,以此提高城市的经济效率。并指出人口规模的扩大、地形的分割、互联网的发展都有助于城市多中心结构对经济效率的提高。此外,部分学者发现,人口规模大的城市,城市多中心结构有助于提升经济绩效。Li & Liu (2018)^[9]基于 LandScanTM人口数据,对全国 306 个地级以上城市的空间结构的经济绩效进行检验,实证结果表明城市单中心结构有助于生产效率的提升。但是该结果受到人口密度的调节,人口密度越大越有助于城市从多中心结构中受益。相反,则单中心城市多中心结构效益更高。

(二) 城市多中心结构对生态绩效影响的相关研究

研究城市多中心结构对生态绩效影响的文章较少,且尚存在争议。部分学者认为城市多中心结构未能有效实现生态绩效或者与生态绩效无关。陆铭和冯皓(2014)^[10]提出生产技术、治理污染的努力程度以及公众与政府的监督成本是工业污染减少的三个有效机制。而上述机制具有规模经济的特征,集聚有助于污染治理。因而从这个角度来看,单中心在减少工业污染上更有优势。Tao et al. (2019)^[11]使用 2011-2017 年长江流域城市的数据,发现城市多中心结构使得 PM₁₀ 增加,但是其认为私家车拥有量多的城市,城市多中心结构由于可以实现传统中心和子中心之间更均衡的人口分布而有助于减少污染排放,虽然这种效果可能有限。另一方面,部分学者则认为城市多中心结构可以降低交通污染排放和工业污染排放。随着城市人口规模不断扩大,集聚经济效应趋于递减。城市单中心结构很难实现规模经济效应和污染排放的规模化处理(Verhoef & Nijkamp, 2002^[12]; Liddle & Lung, 2010^[13])。同时,在城市多中心结构中,污染物能够在更大的土地面积上稀释,从而降低污染浓度和暴露量。因而城市多中心结构由于其污染源相对分散,相较城市单中心结构中污染源过度集中难以处理,小量多点的污染更容易被自然消散和净化(Hoornweg et al., 2011^[14]; Huang et al., 2014^[15])。除此之外,部分学者研究城市多中心结构降低交通出行造成的环境成本。城市多中心结构可以通过降低通勤距离,减少与交通有关的污染排放(Legras & Cavailles, 2016^[16]; Sun et al.,

2020) [17]。

综上,城市多中心结构的影响尚存在争议,虽然当前研究城市多中心结构对经济绩效、生态绩效影响的文章较多,但城市多中心结构是否能够提升城市的经济绩效和生态绩效并未有定论。而城市多中心结构作为当前我国大中城市发展的重要空间战略,对其实际影响的研究应不止单一的从经济或者生态一个维度进行考量,而应当是以综合经济、生态等多个维度,以城市居民福利的提升为最终目标,对当前城市多中心结构进行审视。鉴于此,本文以我国大中城市为载体,从城市内部出发,考察城市多中心结构对城市生态福利绩效是否有影响以及具体的作用机制,为城市内部空间结构调整和可持续发展提供参考。

三、城市多中心结构对生态福利绩效的影响机理

(一) 调节效应:人口和互联网

城市空间结构的影响主要在于集聚经济与集聚不经济之间的相对平衡(Zhang et al., 2017)^[8]。而人口规模是影响集聚经济的重要因素。当城市人口规模较小时,集聚经济是城市发展的主导作用,资源与要素集中在主中心,通过学习、共享和匹配的三个微观机制,有利于发挥集聚经济的益处。此时城市多中心结构造成的城市内部具有多个次中心会降低集聚经济优势。但随着人口规模的增加,当人口规模超过一定阈值后,集聚不经济的负外部性逐渐超过集聚经济正外部性。城市多中心结构则有助于缓解城市过度集聚造成的负面影响,如拥堵、污染问题等,并同时保有集聚经济优势(Masip-Tresserra, 2016^[19])。邵帅等(2019)^[20]以及林伯强和谭睿鹏(2019)^[21]提出集聚经济有助于提升资源利用效率、降低污染排放以及提升污染治理能力,从而提高生态福利绩效。因而人口规模正向调节城市多中心结构影响生态福利绩效的过程。

当前互联网的发展正在增强城市多中心结构对生态福利绩效的影响。一是互联网发展弱化了集聚所需的地理因素,推动经济集聚的地理格局分化,有助于城市多中心结构的形成。互联网具备时空压缩的特征,而其上述压缩或扩大世界的的能力,拓展了市场的边界,增加企业选址的自由度,弱化了地理因素的重要性,经济地理格局正在呈现分散化的特征。同时互联网可以通过降低企业迁移成本以及缓解信息不对称,推动企业由高房价地区向低房价地区流动,形成分散力(安同良和杨晨, 2020)^[22]。越来越多的企业在进行区位选择时,由中心区转向非中心区,并形成新一轮的集聚。二是新一代互联网技术具有空间网络化以及虚拟集聚的空间经济特征(周雯雯等, 2020)^[23],缩短了城市内部的交互距离,促进信息、知识和技术在区域间的传播。互联网发展促进了城市内部沟通,可以弥补城市多中心结构未能如单中心城市凭借地理邻近更快获得信息和知识溢出的不足。因而互联网可以通过减少单中心对集聚经济的重要性来增强多中心的相关经济收益(Zhang et al., 2017)^[8]。同时促进城市内部各个中心的发展和相互作用(Wang et al., 2019)^[24]。各个中心之间相互作用可能产生协同效应可以增强集聚经济。而集聚经济有助于生态福利绩效的提升。因而互联网发展正向调节城市多中心结构影响生态福利绩效的过程。

(二) 中介效应:产业结构、要素流动和污染排放

城市多中心结构可以通过合理分工促进产业结构优化进而提升生态福利绩效。一是城市多中心结构可以有效避免资源过度集中造成的资源配置效率低下,有助于城市内部形成专业化分工与合作,实现更大的规模经济效率(Melo et al., 2017)^[25]。城市多中心结构不仅有利于城市内部资源的优化配置,缓解中心区的拥挤,进而促进中心区产业结构升级,也通过将中心区过度资源引导至其他区域,提升了其他区域的产业结构,从而推动城市内部产业空间结构的合理布局,进而优化城市内部产业结构。二是城市多中心结构有助于形成服务业集聚于城市中心,制造业则在城市次中心集聚的专业化分工布局。魏守华等(2016)^[3]提出城市多中心结构有助于形成服务业和制造业的集聚区,充分发挥产业集聚效应。城市多中心结构促进城市中心区“退二进三”,形成产业部门结构的合理布局,最终形成产业专业化集聚和发挥地域生产网络的优势,促进产业结构升级。三是城市多中心结构有助于促进城市内部各个区域进行产业差异化发展。城市多中心结构中工业企业区位选择更加自由,有助于引导不同企业基于自身在生产价值链中的位置和生产环节的需要进行空间区位选择。在企业 and 城市内部区域的双向选择中,实现了城市内部不同区域的产业差异化发展,产业差异化发展一方面有助于促进产业专业化集聚,另一方面也有利于实现产业多样化集聚,二者均促进城市产业结构的调整升级。方时姣和肖权(2019)^[26]认为产业结构优化可以促进生态福利绩效提升。因而城市多中心结构通过优化产业结构促进生态福利绩效提升。

城市多中心结构有助于城市内部形成分工有序、联系密切的城市网络 (Glaeser et al., 2016) [27], 从而促进要素流动以提高生态福利绩效。一是城市多中心结构以多层次、多功能的城市网络体系, 可以增强城市内部各中心之间的功能联系。城市内部功能联系的加强, 将促进城市内部各个区域进行紧密的分工与合作。而城市内部的紧密分工与合作则需要各个要素进行有效流动。二是城市多中心结构中人口呈现多中心分布, 有助于人口、商品、知识等要素流动。多个中心的形成, 使得要素区位选择更多, 改进了要素的单向流动, 使得要素可以在城市内部各个中心之间有效流动。要素流动的增加, 一方面有助于城市内部的要素分布均匀, 另一方面, 要素配置基于各自比较优势, 促进了要素配置的便利性, 最终提高要素配置效率。要素流动引致的要素在空间上合理配置, 对推动绿色创新、促进经济增长、缩小经济差距具有重要意义, 进而有助于提升生态福利绩效 (Zou et al., 2019) [28]。因而城市多中心结构促进要素流动进而提高生态福利绩效,

城市多中心结构降低污染排放同样存在集聚经济与集聚不经济的权衡。随着城市人口规模不断扩大, 集聚经济效应趋于递减。城市单中心结构很难实现规模经济效应和污染排放的规模化处理 (Verhoef & Nijkamp, 2002 [12]; Liddle & Lung, 2010 [13])。而城市多中心结构由于其适度的集聚程度, 将有利于发挥集聚对污染排放减少的促进作用。此外, 城市多中心结构还有助于降低工业污染和交通污染。Sun et al. (2020) [17] 认为城市多中心结构有助于城市人口和就业之间的相对均衡分布。拉近了工作地和居住地的通勤距离。大大降低了交通出行需求, 通勤时间被缩短。且城市多中心结构有助于减少交通拥堵, 分散交通压力。通勤时间的缩减, 将降低整体通勤规模和需求, 而与通勤相关的交通污染也会因此降低。城市多中心结构通过影响工业企业空间分布降低工业污染排放。城市多中心结构中城市的人口、企业分布相对分散, 城市空间相对宽敞, 会有更多的空间可以用于绿化建设, 也会有更多的空间来承载污染。而根据 Huang et al. (2014) [15], 污染物能够在更大的土地面积上稀释, 从而降低污染浓度和暴露量。因而城市多中心结构的优势在于其污染源相对分散, 污染更容易得到自然消散和净化 (Hoornweg et al., 2011) [14]。同时, 城市多中心结构引致企业在次中心发展, 会由于地价和劳动力相对便宜, 降低生产成本, 从而可能会使得企业具有更多的资本用于减少污染排放的投入。此外, Sun et al. (2020) [17] 认为, 由于多中心城市城市空间结构中工业企业多中心分布, 与城市单中心结构相比, 位于子中心的工业企业的污染物 (尤其是空气污染物) 往往会溢出到邻近的城市地区, 从而降低当地的污染排放。降低污染排放有助于降低生态投入, 提高居民健康水平和主观满意度, 进而提升生态福利绩效。

三、模型设计

(一) 基准模型

$$\ln EWP_{it} = C + \beta_1 \ln HHI_{it} + \beta_2 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

EWP_{it} 表示 i 市 t 期的生态福利绩效情况; HHI 表示城市多中心结构程度; ε_{it} 表示误差项。 X_{it} 表示其他控制变量, 包括对外开放程度 (FDI)、环境规制程度 (ER)、科技创新水平 (TI)、财政支出规模 (FI)。

对外开放程度 (FDI), 在本文中采用各城市的实际利用外资额占该地区 GDP 的比例来衡量一个地区的对外开放度。对外开放程度影响生态福利绩效的方式主要分为污染天堂效应和污染光环效应 (Nasir et al., 2019) [29]。一方面, “污染天堂假说”认为, 外商直接投资会导致污染转移到东道主国家, 造成污染加剧。另一方面, 外商直接投资的增加会带来先进技术和管理经验, 促进了绿色技术进步, 使得污染治理能力提升, 因而存在“污染光环效应”。

环境规制水平 (ER), 由于数据可得性, 借鉴林伯强和谭睿鹏 (2019) [21], 使用工业固体废物综合利用效率来衡量环境规制程度。环境规制高的城市, 工业固体废物综合利用效率就会高。增强环境规制水平可以有效抑制高污染产业发展, 降低污染排放水平, 同时有助于提高企业创新水平和绿色技术进步 (Ramanathan et al., 2017) [30], 从而提高生态福利绩效。但高强度环境规制水平可能对企业产出造成负面影响 (Jin et al., 2019) [31], 由于过高的环境规制水平可能对企业生产规模、污染排放等有较高的要求, 可能会造成短期内企业无法消化环境规制成本, 影响企业生产效率。

科技创新水平 (TI), 本文使用各城市科技支出占 GDP 的比例衡量城市科技创新水平。科技创新水平的提高一方面能直接提升企业生产效率, 另一方面则有助于提高资源、能源的使用效率和污染治理能力。此外, 科技创新能力的提升可以促进技术进步, 技术进步则包含

范围较广,辐射至生活方方面面,给人们带来便利,从而有助于提升居民生活质量和主观满意度,最终促进生态福利绩效的提高(李成宇等,2019)^[32]。

财政支出规模(FI),在本文中用地方财政支出占当地GDP的比例来衡量财政支出规模(林伯强和谭睿鹏,2019)^[21]。财政支出规模是影响生态福利绩效的重要因素:财政支出用于教育、科技以及社会保障就业等均有利于提高生态福利绩效;但是当把财政支出用于行政管理等方面时可能会导致市场扭曲,不利于资源配置,进而抑制生态福利绩效提升(李江龙和徐斌,2018)^[33]。

(二) 关键变量

1. 城市多中心结构

本文借鉴Li et al. (2018)^[6],采用赫芬达尔指数作为测度城市多中心结构的方式。赫芬达尔指数是衡量多中心的常用指标,该指数常见于衡量产业竞争,防止企业合并引起的垄断程度加剧。因此衡量首要地位或者说中心度是其本质,这与城市多中心结构去中心化的基本概念相似。且赫芬达尔指数包含了城市内部所有区域的相对规模大小,能够更加精准刻画城市内部空间结构(郑建锋和陈千虎,2019)^[34]。在城市空间结构的研究中,一般将产业换成人口或就业规模用来估计多中心程度。

计算公式为:

$$HHI = \sum_1^n S_i^2 \quad (2)$$

HHI表示赫芬达尔指数。HHI越小,城市多中心结构程度越大,HHI越大,城市单中心结构程度则越大。 S_i 为城市内部*i*个次及单元人口比重, n 为城市内部辖区数量。

该指标采用数据为LandScanTM数据集,该数据集已越来越多地被用于中国城市空间结构的研究(Li & Liu,2018^[35]; Wang et al.,2019^[36], Li et al.,2019b^[37])。一方面,该数据集可以提供更加精确而细化的地理尺度来反映人口的分布特征(Liu et al.,2018)^[38],另一方面该数据每年更新,可运用该数据对最新城市空间结构情况进行分析。

2. 生态福利绩效

生态福利绩效的指标体系构建中,主要分为两个层面,一是投入指标。生态福利绩效概念中投入主要是资源消耗与自然投入,故参照(龙亮军和王霞,2017)^[39]将投入指标分为资源消耗和环境污染,其中资源消耗具体包含能源消耗、土地消耗以及水资源消耗,分别采用人均全社会用电量、人均建成区面积、人均用水量来测度。全社会用电量以及建成区面积来自《中国城市统计年鉴》,用水总量数据来自各地市水资源公报;环境污染为废水(人均工业废水排放量)、废气(人均二氧化硫排放量)和固体废弃物(人均一般工业固体废物产生量),三废数据来自《中国城市统计年鉴》、《中国统计年鉴》以及各城市统计年鉴。

二是产出指标。根据诸位学者的研究,考虑指标体系构建的科学性以及可得性,产出指标主要包括主观福利和客观福利。客观福利参照由联合国开发计划署发布的人类发展指数(HDI),含收入、教育与健康三个人类福利关键维度,分别是人均GDP、人均受教育年限以及人均预期寿命,数据分别来自《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴、各城市卫生统计公报及网络。同时借鉴龙亮军(2019)^[40]将主观福利纳入测度范围,客观的社会福利评估必不可少,福利水平的测度也少不了居民对当前自身福利的满意程度。社会福利水平的提升,最终是要体现在人民发自内心的满意与幸福之上,而忽略主观感受容易导致评估结果与实际产生偏差(龙亮军,2019^[39])。故本文利用《中国35个城市生活质量报告》发布的城市生活质量主观满意度作为主观福利,该数据自2011年起每年于《经济学动态》进行发布,每年发布数据为上一年调查情况,研究结果具有较好的参考性与代表性。考虑到研究样本问题,本文仅可以获得2010年部分城市主观满意度数据,以及2011-2018年35个主要城市数据,本文通过已有数据尝试补充2008年、2009年以及部分城市2010年数据,主要根据2011-2018主观满意度变化趋势、福利产出三个指标测算出的HDI指数,利用拟合以及指数平滑综合的方式对其进行扩展。且将2011-2018年测度的生态福利绩效用于稳健性检验。

(三) 数据来源

本文以中国省会级城市和计划单列市等主要35个城市为研究对象,这些城市经济发展水平好,城市人口规模大,城市空间结构大多趋于多中心化,因而比较具有代表性。受限于主观福利指标,本文以2008-2018年为样本期间进行分析,2008-2018年是我国城镇化快速发展阶段,户籍制度放松、高铁网络形成都加快了我国各大城市的人口重构过程,对城市空

间结构产生较大影响。因而采用该期间分析多中心城市空间结构对生态福利绩效的影响，对处于人口重构关键窗口期的中国具有重要现实意义。

文中数据来自 LandScanTM 全球人口数据集、《中国城市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、《中国统计年鉴》、各城市统计年鉴、统计公报、水资源公报、卫生公报、《城市生活质量报告》等，少数缺失的数据利用内插法和外推法得到。

相关价格指数以 2008 年为基期平减。

对本文变量进行描述性统计分析，得出表 1。

表 1：变量描述性统计

变量	变量名称	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
EWP	生态福利绩效	385	0.876	0.253	0.024	1.957
HHI	赫芬达尔指数	385	0.181	0.070	0.044	0.401
PN	城市中心数量	385	1.649	1.170	0	6
Poly	多中心程度（标准差法测度）	385	0.111	0.207	-1	0.886
Parreto	帕累托指数	385	-1.986	1.599	-14.921	-0.512
FDI	对外开放程度	385	0.320	0.227	0.234	1.328
ER	环境规制水平	385	0.853	0.176	0.231	1.347
TI	科技创新水平	385	0.039	0.031	0.004	0.229
FI	财政支出规模	385	0.141	0.042	0.019	0.371
INF	产业结构	385	0.432	0.087	0.181	0.601
FM	要素流动	385	0.234	0.172	0.024	1.097
SO ₂	二氧化硫排放量	385	1.051	0.969	0.004	6.234
POP	人口数量	385	0.880	0.593	0.165	3.102
POPD	人口密度	385	2.023	0.774	0.765	5.155
INT	互联网普及率	385	258.9	337.0	134.8	517.4

四、实证结果分析

（一）城市多中心结构对生态福利绩效的影响

为确定合适的实证模型，在混合 OLS 模型（模型 1）、固定效应模型（模型 2）以及随机效应模型中进行选择（模型 3）。根据模型适用假定以及回归结果，最终确定固定效应模型为本文基准模型。表 2 中，模型 2 汇报了实证基准模型（固定效应模型）估计所得的回归结果，多中心城市空间结构的 HHI 系数在 1% 水平下显著为负，因 HHI 越小，城市多中心程度越大，所以表明随着城市多中心结构程度增大，生态福利绩效提高。

控制变量中表征对外开放程度的外商直接投资（FDI）系数负，且在 1% 水平下显著，这说明外商直接投资的“污染天堂”效应比“污染光环”效应更加显著，外商直接投资对环境的负面影响大于技术扩散带来的正面影响。环境规制（ER）不显著，可能是由于一方面，当前中国产业发展的污染排放问题依然较为严重，部分地区为追求经济发展，可能会造成环境规制“名严实松”，环境规制在具体施行时未能有效落实到位，故提高环境规制水平并不能到达立竿见影的减污效果，生态福利较也就无法随之得到提高；另一方面则是由于中国部分企业的排污治理能力可能较低，提高环境规制水平，在这种硬性约束条件下会使得部分技术不足的企业在短期内生产经营受限，降低了企业生产效率，从而无法提高生态福利绩效。科技创新水平（TI）对生态福利绩效的影响，在 1% 统计水平上是正向显著的。政府科技支出的增加有助于推动技术创新和技术进步，并相应地提高生态福利绩效。财政支出规模（FI）在 1% 显著性水平下为正，表明当前财政支出规模，有助于促进生态福利绩效提升。财政支出用于一般公共服务、环保等均有助于提升福利产出且降低生态投入，最终有助于生态福利绩效提高。

表 2: 城市多中心结构对生态福利绩效影响的实证结果

Variables	混合OLS	固定效应	随机效应
	(1)	(2)	(3)
lnHHI	-0.106** (0.051)	-0.798*** (0.149)	-0.351*** (0.091)
FDI	0.028 (0.091)	-0.332*** (0.077)	-0.317*** (0.082)
ER	0.107 (0.111)	-0.179 (0.114)	-0.105 (0.114)
TI	7.772*** (0.665)	3.417*** (0.800)	4.790*** (0.788)
FI	-2.243*** (0.489)	4.305*** (0.486)	3.060*** (0.498)
Constant	-0.287*** (0.093)	-1.525*** (0.266)	-0.726*** (0.168)
Fixed Effects		Yes	
R ²	0.316	0.450	0.428
Obs	385	385	385
Hausman检验			0.000

注: Standard errors in parentheses, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ (下同, 不再列示)

(二) 区域异质性分析

从区域层面来看, 首先按照经济发展水平将城市划分为东部(16个)和中西部(19个)¹。东部地区城市和中西部地区城市的分样本回归结果中, HHI系数均为负向, 且在1%水平下显著, 与全样本层面结果一致, 表明在东部城市和中西部城市, 城市多中心结构对生态福利绩效均存在促进作用。但是在中西部城市, 城市多中心结构对生态福利绩效的影响强于东部城市。究其原因, 可能有以下几点, 一是由于早期东部城市的发展方式属于高污染、高能耗的粗放型增长, 其带来的环境负面效应较大, 而随着经济水平的提高, 东部城市的公众对改善环境质量的诉求也更高。尽管当前城市多中心结构缓解了部分集聚不经济问题, 但是环境问题等依然在公众心中根深蒂固, 故而削弱了城市多中心结构对生态福利绩效的影响。二是随着近年来多中心空间战略的施行, 虽然其初衷是为了疏导城市中心过度集聚的问题, 但是部分东部城市借着发展城市次中心的名头, 搞所谓的新城开发, 其实是圈地造房。虽然住房带来了人口, 但是由于缺乏宏观层面的产业规划和相关配套设施, 使得周围未能有效实现产业集聚或者经济集聚。这种低效的城市多中心结构并不利于环境污染治理和经济发展, 也导致东部城市的多中心结构对生态福利绩效的影响被削弱。三是中西部地区虽然人口密度低于东部地区, 但是一方面其由于地形地貌等原因, 各个地区之间可能存在自然分割或者生态保护区, 人口不能像东部地区集中在一个地方, 城市多中心结构就有助于发挥中西部地区天然的多中心优势, 在生态承载力下促进城市整体发展; 另一方面西部地区开发较晚, 增加城市内部新的经济增长点, 有利于刺激经济发展, 促进民众幸福感上升。

此外, 将35个主要城市根据区域相对生态承载力大小(龙亮军, 2019)^[40], 划分为生态东部、生态中西部两大区域(其中东部地区15个城市, 中西部地区20个城市)², 以分析城

¹ 参照国家统计局对三大地区的划分, 东部: 北京、天津、石家庄、沈阳、上海、南京、杭州、福州、济南、广州、海口、大连、青岛、宁波、厦门、深圳; 中部: 太原、长春、哈尔滨、合肥、南昌、郑州、武汉、长沙; 西部: 成都、重庆、贵阳、昆明、西安、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐、南宁、呼和浩特。

² 根据钟茂初(2016)研究结论, 将35个主要城市根据生态承载力大小进行划分, 以胡焕庸线以及与其平行的烟台—河池线为基准, 划分为生态东部、生态中部以及生态西部, 具体情况如下, 生态东部(15个

市多中心结构影响生态福利绩效的地区差异性,同时缓解因城市自身生态环境优势造成生态福利绩效过高的样本选择问题。因生态西部城市数量较少,故将生态中西部地区合并,回归结果见表3模型3-4。生态东部和生态中西部的分区域回归结果中,生态东部和生态中西部区域,城市多中心结构对生态福利绩效的影响依然是正向且显著的。其中,在生态中西部,城市多中心结构对生态福利绩效的影响最大,生态东部次之。生态东部城市生态承载力较高,集聚经济的规模阈值也相对提高,意味着相对于生态承载力较低的生态中西部城市,生态东部城市可以承载更多的人口,而依然处于集聚经济主导。故城市多中心结构对集聚不经济的疏解作用在生态东部低于生态中西部。最终使得城市多中心结构在生态承载力低的城市,对生态福利绩效影响更大。

表3:城市多中心结构对生态福利绩效影响的异质性分析

Variables	东部	中西部	生态东部	生态中西部
	(1)	(2)	(3)	(4)
lnHHI	-0.281** (0.119)	-1.764*** (0.273)	-0.320** (0.154)	-1.240*** (0.227)
FDI	-0.456*** (0.057)	0.244 (0.170)	-0.635*** (0.121)	-0.255*** (0.097)
ER	0.253* (0.137)	-0.315** (0.145)	0.378* (0.191)	-0.243* (0.135)
TI	1.046 (0.752)	5.610*** (1.252)	2.163*** (0.777)	7.611*** (1.865)
FI	7.782*** (0.630)	3.466*** (0.602)	8.147*** (0.873)	2.959*** (0.583)
Constant	-0.360 (0.226)	-3.268*** (0.467)	-0.474* (0.281)	-2.406*** (0.407)
Fixed Effects	Yes	Yes	Yes	Yes
R ²	0.629	0.427	0.542	0.406
Obs	176	209	165	220

(三) 内生性问题讨论

通常认为多中心城市空间结构与生态福利绩效之间存在逆向因果关系。一方面,城市多中心结构通过人口规模、互联网发展的调节效应以及优化产业结构、促进要素流动、降低污染排放的中介效应来影响生态福利绩效,另一方面生态福利绩效高的区域将会吸引企业、人口进行区位选择,从而影响到城市多中心结构。因而,认为城市多中心结构与生态福利绩效之间相互影响。本文将使用工具变量来解决这一内生性问题。借鉴林伯强和谭睿鹏(2019)^[21],将城市1933年是否开通铁路这一历史事实作为城市多中心结构的一个工具变量。在旧中国时期,铁路作为重要的交通基础设施,在降低运输成本方面具有重要作用。运输成本的降低则有利于集聚经济和城市中心的形成。因而1933年是否开通铁路可以影响到城市的空间结构,但是1933年是否具有铁路已经成为历史,且距离今天较为久远,不会对当前生态福利绩效产生影响。故1933年是否有铁路通过,满足工具变量的相关性和外生性假定。

表4呈现了使用工具变量并采用2SLS法在控制内生性之后模型的估计结果。其中,第一阶段的F检验值为44.25,大于10,符合经验法则。第二阶段汇报的Cragg-Donald Wald F值为79.92,大于临界值16.38,同时通过了1%统计水平下的显著性检验,弱工具变量检验通过,表明该工具变量不属于弱工具变量。模型2显示HHI系数在1%显著性水平下为负,

城市):上海、南京、杭州、宁波、福州、厦门、青岛、广州、深圳、海口、南宁、合肥、南昌、武汉、长沙;生态中部(15个城市):长春、哈尔滨、北京、天津、石家庄、沈阳、大连、太原、济南、郑州、西安、重庆、成都、贵阳、昆明;生态西部(5个城市):呼和浩特、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐。

即城市多中心结构有助于提高生态福利绩效。工具变量的回归结果进一步证明了本文得出的城市多中心结构对生态福利绩效的影响显著为正的结论具有可靠性。

表 4：内生性结果

Variables	Two-stage least squares (TSLS)	
	First Stage (1)	Second Stage (2)
lnHHI		-1.104*** (0.172)
lnRailway	-0.159***	
Control variables	Y	Y
F	44.25	37.49
Constant	Y	Y
Cragg-Donald Wald F statistic		79.92
Obs	385	385

(四) 稳健性检验

为了保证实证结果的可靠性和稳健性，本文将采用替代解释变量和替代被解释变量对实证结果进行稳健性检验。

1. 替代解释变量

首先使用城市多中心结构常用测度指标帕累托指数 (Pareto) 替代 HHI，作为城市多中心结构的测度方式。已有研究中帕累托指数已经得到较多学者的使用和认可 (Maly, 2016^[41]; Li et al., 2018^[6])，其测度方式如下：

$$\ln(\text{Rank}) = \alpha + \beta \ln(\text{Size}) + \varepsilon \quad (3)$$

并将位次减去 1/2 来最大限度减少估计偏差。

$$\ln(\text{Rank} - 1/2) = \alpha + \beta \ln(\text{Size}) + \varepsilon \quad (4)$$

其中，Size 是次级研究单元的人口规模；Rank 是该次级研究单元在所处城市中城市人口规模的排名； β 为帕累托指数，代表城市多中心结构。其值越大，越趋向多中心，值越小则越趋向单中心。

表 5 中模型 1 显示了采用帕累托指数作为多中心城市空间测度指标的实证结果。结果显示，帕累托指数系数为正，且在 1% 统计水平下显著，表明城市多中心结构对生态福利绩效的影响依然是正向显著的。

此外，基于 Green 提出的以网络分析为视角的多中心性衡量方法 (Green, 2007)^[42]，即将城市多中心性量化为对城市各子中心“重要性”的标准差的测度 (Liu & Wang, 2016)^[43]，本文借鉴马秀馨等 (2020)^[44]，通过相对最小阈值法利用精细化人口网格密度数据识别各城市内部的中心，并采用标准差法确定城市内部尺度下的形态多中心值，计算公式如下：

$$\text{Poly} = 1 - \frac{\delta_{\text{obs}}}{\delta_{\text{max}}} \quad (5)$$

公式 5 中，Poly 代表城市多中心结构程度； δ_{obs} 城市内部各中心的重要性的标准差，即人口规模的标准差； δ_{max} 则表示城市内部最大中心的人口规模与 0 的标准差。Poly 取值范围是 [0, 1]，数值越接近 0，表示城市内部无明确中心，数值越接近 1，则表示城市多中心结构程度越大。按照 Liu & Wang (2016)^[43] 和 马秀馨等 (2020)^[44]，将无明确中心的城市设定为 -1，将只有一个中心的城市设定为 -0.5。城市中心的识别采用第三章以及本章中的人口中心识别方法。

采用该测度指标进行城市多中心结构的测度，其实证回归结果见表 5 模型 2。Poly 的系数在 1% 水平下显著为正，表明随着城市多中心结构程度的加大，生态福利绩效提高。通过进一步的细化研究尺度，构建城市多中心结构测度指标，发现其对生态福利绩效的影响依然是正向显著的。

2. 替代被解释变量

首先，根据 (Bian et al., 2020)^[45] 中福利产出的选取，将原客观福利产出中的教育和健康维度指标分别替换为每万人在校大学生数、每万人职业医师数，对调整后的生态福利绩效指

标进行测度, 并进行回归, 结果见表 5 模型 3。可以发现 HHI 系数依然显著为负, 表明城市多中心结构对生态福利绩效的正向影响依然存在。但是回归系数相较基准回归变小, 也表明虽然每万人在校大学生数和每万人职业医师数能够代表一定的教育和健康水平, 但是不如受教育年限和预期寿命两个指标能够更好衡量城市实际的教育和健康情况。

另考虑本文 2008-2009 年数据采用拟合和指数平滑方式进行补充, 故再次使用 2011-2018 年未进行扩展的主观福利数据测度的生态福利绩效进行回归, 回归结果见表 5 模型 4。模型 4 显示 HHI 系数在 1% 显著性水平下为负, 即城市多中心结构促进生态福利绩效的提高。且系数波动不大, 考虑到系数波动中还存在样本量变化的影响, 故本文对主观满意度的补充, 并未对评估城市多中心结构影响生态福利绩效的结果造成较大影响。

此外, 本文生态福利绩效指标中的社会福利包含主观福利与客观福利, 剔除主观福利指标, 重新进行生态福利绩效指标的衡量, 验证城市多中心结构和生态福利绩效二者之间的关系。回归结果见表 5 模型 5, HHI 系数同样显著为负, 城市多中心结构的正向促进作用依然存在。但是从系数可以发现, 剔除主观福利指标使得城市多中心结构对生态福利的影响变小了。故也说明了采用主观福利产出进行生态福利绩效测度的必要性。

表 5: 稳健性检验结果

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	lnEWP	lnEWP	lnEWP ₂	lnEWP ₃	lnEWP ₄
lnHHI			-0.399*** (0.074)	-0.885*** (0.137)	-0.431*** (0.080)
Pareto	0.040*** (0.015)				
Poly		0.220*** (0.083)			
Control variables	Y	Y	Y	Y	Y
Fixed Effects	Y	Y	Y	Y	Y
R ²	0.533	0.415	0.485	0.367	0.482
Obs	385	385	385	280	385

(五) 机理检验

1. 调节效应

为探究人口规模对城市多中心结构的生态福利绩效的调节作用, 分别从数量规模和密度规模两个层面展开研究。人口数量为常住人口数据, 人口密度数据则为常住人口与建成区面积之比。在模型中加入人口数量/人口密度, 以及人口数量/人口密度与城市多中心结构的交互项, 并对交互项进行去中心化处理, 具体模型如下:

$$\ln EWP_{it} = C + \beta_1 \ln HHI_{it} + \beta_2 \ln HHI_{it} * \ln POP_{it} + \beta_3 \ln POP_{it} + \beta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln EWP_{it} = C + \beta_1 \ln HHI_{it} + \beta_2 \ln HHI_{it} * \ln POPD_{it} + \beta_3 \ln POPD_{it} + \beta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

人口数量和人口密度的调节效应回归结果见表 6 模型 1-2, 根据模型 1 可以发现, HHI 系数负向显著, 人口数量 (POP) 系数为正向显著, 二者交互项系数负向显著, 由于交互项系数与 HHI 系数符号相同, 说明城市人口数量的增加, 在城市多中心结构影响生态福利绩效的过程中为正向调节作用。模型 2 显示了人口密度的调节效应结果, 其中 HHI 系数负向显著, 人口密度 (POPD) 系数负向显著, 二者交互项系数负向显著, 交互项系数符号与 HHI 系数符号方向一致, 表明城市人口密度的提高, 对城市多中心结构影响生态福利绩效过程存在正向调节作用。

加入城市多中心结构与互联网发展的交互项, 检验互联网发展对城市多中心结构影响生态福利绩效的调节效应。互联网发展水平 (INT) 采用互联网接入用户数衡量。模型设定如下:

$$\ln EWP_{it} = C + \beta_1 \ln HHI_{it} + \beta_2 \ln HHI_{it} * \ln INT_{it} + \beta_3 \ln INT_{it} + \beta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

表 6 模型 3 显示了互联网发展的调节效应结果，互联网发展 (INT) 系数正向显著，HHI 系数负向显著。交互项系数为负，与 HHI 系数方向一致，且在 1% 的水平下显著，说明随着互联网的发展，城市多中心结构对生态福利绩效的促进作用增强。

表 6: 城市多中心结构对生态福利绩效影响的调节效应检验

Variables	(1)	(2)	(3)
lnHHI	-0.519*** (0.153)	-0.351*** (0.089)	-0.484*** (0.123)
lnHHI*lnPOP	-0.399** (0.181)		
lnPOP	1.340*** (0.345)		
lnHHI*lnPOPD		-0.349*** (0.095)	
lnPOPD		-1.573*** (0.165)	
lnHHI*lnINT			-0.251*** (0.050)
lnINT			-0.192** (0.090)
Control variables	Y	Y	Y
Fixed Effects	Y	Y	Y
R ²	0.605	0.822	0.692
Obs	385	385	385

2. 中介效应

基于机理分析，本文采用逐步法检验优化产业结构、促进要素流动和降低污染排放的中介效应。回归模型设定如下：

$$\ln EWP_{it} = C + \beta_1 \ln HHI_{it} + \beta_2 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$\ln MED_{it} = C + \beta \ln HHI_{it} + \beta_2 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

$$\ln EWP_{it} = C + \alpha_1 \ln HHI_{it} + \delta \ln MED_{it} + \beta_3 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

其中 MED_{it} 为中介变量，即城市多中心结构影响生态福利绩效的途径。公式 (9) - (11) 为中介效应检验程序。首先检验系数 α ，若 α 不显著，则中止中介效应分析。其次，检验系数 β 和 σ ，若两个系数都显著，则进一步检验 α_1 ， α_1 显著， $\beta\sigma$ 与 α_1 同号，且 α_1 绝对值小于 α ，则中介效应显著。根据基准回归模型 1 可知满足系数 α 显著，因此本部分将直接进行中介效应中的公式 (10) 和公式 (11) 的检验。其中中介变量产业结构使用第二产业产值占 GDP 的比重 (INF) 进行衡量；中介变量要素流动包含商品流动和劳动力流动，由于货运量和客运量数据缺失，采用公路货运量和公路客运量，并利用熵值法形成要素流动的综合指标 FM；中介变量污染情况，二氧化硫排放作为污染指数 (SO_2)。

中介检验回归结果见表 7。其中，模型 1 为公式 (9) 的检验，即基准回归结果。模型 2-3 是产业结构的中介检验。模型 4-5 是要素流动的中介检验。模型 6-7 为污染排放的中介效应检验。由表 7 可知三个中介检验的 β 和 σ 系数均显著， α_1 显著， $\beta\sigma$ 与 α_1 同号，并且绝对值均小于 α 。因而，存在以产业结构、要素流动和污染排放为中介变量的中介效应。

具体而言，由模型 2 可知，HHI 的系数正向显著，模型 3 中，产业结构 (INF) 系数为负向，与方时姣和肖权(2019)^[7]研究结果一致。城市多中心结构优化产业结构的中介效应得到验证。根据模型 4，HHI 系数为负向显著，在模型 5 中要素流动 (FM) 系数为正向显著，城市多中心结构促进要素流动的中介效应得到验证。模型 6 显示，HHI 系数正向显著，模型

7 可知污染排放 (SO₂) 系数为负向显著, 城市多中心结构降低污染排放以提高生态福利绩效的中介效应同样得到验证。

表 7: 城市多中心结构对生态福利绩效影响的中介效应检验

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	lnEWP	lnINF	lnEWP	lnFM	lnEWP	lnSO ₂	lnEWP
lnHHI	-0.798*** (0.149)	0.260*** (0.062)	-0.463*** (0.129)	-0.703*** (0.228)	-0.569*** (0.131)	2.773*** (0.538)	-0.415*** (0.134)
lnINF			-1.291*** (0.109)				
lnFM					0.325*** (0.030)		
lnSO ₂							-0.138*** (0.013)
Control variables	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Fixed Effects	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
R ²	0.450	385	385	385	385	385	385
Obs	385	0.318	0.608	0.170	0.587	0.354	0.587

五、结论与政策启示

城市内部空间结构问题一直是城市经济学的研究热点, 具有很强的现实意义。因而本文以城市内部空间结构的绩效为核心命题, 从生态福利绩效视角出发, 探索如何通过空间的结构调整来促进社会福利提升。本文得到的主要发现是: (1) 在中国大中城市, 多中心城市空间结构有助于提高城市生态福利绩效。无论是按照传统经济发展水平进行区域划分还是按照生态承载能力进行划分, 城市多中心结构对生态福利绩效的促进作用, 均是中西部城市高于东部城市。(2) 城市多中心结构影响生态福利绩效的主要途径为: 其一, 人口规模和互联网发展对城市多中心结构影响生态福利绩效的过程存在正向调节作用。其二, 城市多中心结构通过优化产业结构、促进要素流动和降低污染排放三个中介效应提高生态福利绩效。

本文对实践政策可能的启示如下: (1) 中国大中城市可利用城市多中心结构, 通过空间结构优化的方式缓解人口规模扩大带来的城市问题。。本文证实了多中心空间战略有利于提高大中城市的生态福利绩效, 不仅为未来空间结构规划提供学术支撑, 也为城市绿色发展提供了可行的方案。(2) 城市多中心结构需考虑城市的异质性。不同地方政府应当根据具体情况因地制宜的选择城市空间结构。(3) 城市多中心结构中的借用规模效应的发挥有赖于城市内部各个中心之间的紧密联系, 因而城市内部连通的提高, 有助于城市多中心结构对生态福利绩效的提高。通过增强交通基础设施和信息基础设施的建设, 有助于降低城市内部各中心之间的人口迁移成本、商品运输成本和信息交流成本。各中心之间交通和信息通达性的提高才能使人流、物流和信息流真正融入到城市多中心结构的网络中, 发挥城市多中心结构的要素流动促进效应以及互联网发展的调节效应。(4) 加强城市各个中心之间的功能联系, 在城市内部形成合理的地域分工体系。一方面吸引企业和各类资源适度向次中心分流, 通过合理引导, 促进次中心不断发展, 形成更大规模的集聚经济, 最终发挥城市多中心结构对合理产业空间布局的推动作用。另一方面, 次中心做好与主中心的产业互动、承接主中心制造业外移、完善主中心相关配套产业, 进而增强城市内部各中心之间的产业关联度, 发展城市产业链, 形成产业配套且功能互补的城市多中心结构。

参考文献

[1] Li J, Luo Y, Wang S. Spatial effects of economic performance on the carbon intensity of human well-being: The environmental Kuznets curve in Chinese provinces[J]. Journal of Cleaner Production, 2019a, 233(10):681-694.

[2] 诸大建, 张帅. 生态福利绩效及其与经济增长的关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(09):59-67.

- [3] 魏守华,陈扬科,陆思桦.城市蔓延、多中心集聚与生产率[J].中国工业经济,2016(08):58-75.
- [4] 孙斌栋,李琬.城市规模分布的经济绩效——基于中国市域数据的实证研究[J].地理科学,2016,36(03):328-334.
- [5] Li W, Sun B, Zhang T. Spatial structure and labour productivity: Evidence from prefectures in China[J]. Urban Studies, 2019, 56(8):1516-1532.
- [6] Li W, Sun B, Zhao J, et al. Economic performance of spatial structure in Chinese prefecture regions: Evidence from night-time satellite imagery[J]. Habitat International, 2018, 76:29-39.
- [7] 刘修岩,李松林,秦蒙.城市空间结构与地区经济效率——兼论中国城镇化发展道路的模式选择[J].管理世界,2017(01):51-64.
- [8] Zhang T, Sun B, Li W. The economic performance of urban structure: From the perspective of Polycentricity and Monocentricity[J]. Cities, 2017,68:18 - 24.
- [9] Li Y, Liu X. How did urban polycentricity and dispersion affect economic productivity? A case study of 306 Chinese cities[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 173:51-59.
- [10] 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(07):88-116.
- [11] Tao J, Wang Y, Wang R, et al. Do Compactness and Poly-Centricity Mitigate PM10 Emissions? Evidence from Yangtze River Delta Area[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(21):4204.
- [12] Verhoef ET, Nijkamp P. Externalities in urban sustainability - Environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city [J]. Ecological Economics, 2002.
- [13] 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.
- [14] Hoornweg D, Freire M, Lee M J, Bhada-Tata P, Yuen B, Bertaud A, Lefèvre B, Yuen B. GHG Emissions, Urban Mobility, and Morphology: A Hypothesis [M]Cities and Climate Change. 2011.
- [15] Huang Y, Shen H, Chen H, et al. Quantification of global primary emissions of PM2.5, PM10, and TSP from combustion and industrial process sources. [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(23):13834-13843.
- [16] Legras S, Cavailles J. Environmental performance of the urban form[J]. Regional Science & Urban Economics, 2016, 59(7):1-11.
- [17] Sun B, Han S, Li W. Effects of the polycentric spatial structures of Chinese city regions on CO2 concentrations[J]. Transportation Research Part D Transport and Environment, 2020, 82:102333.
- [18] Zhang T, Sun B, Li W. The economic performance of urban structure: From the perspective of Polycentricity and Monocentricity[J]. Cities, 2017,68:18 - 24.
- [19] Masip-Tresserra J. Polycentricity, Performance and Planning: Concepts, Evidence and Policy in Barcelona[J]. Catalonia, 2016.
- [20] 邵帅,张可,豆建民.经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J].管理世界,2019,35(01):36-60+226.
- [21] 林伯强,谭睿鹏.中国经济集聚与绿色经济效率[J].经济研究,2019,54(02):121-134.
- [21] 安同良,杨晨.互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应[J].经济研究,2020,55(02):4-19.
- [23] 周雯雯,李小平,李菁.基础设施建设对全要素生产率的空间溢出效应——基于“一带一路”背景下271个地级市面板数据的研究[J].经济问题探索,2020(06):64-76.
- [24] Wang M, Derudder B, Liu X. Polycentric urban development and economic productivity in China: A multiscalar analysis[J]. Environment and Planning A, 2019, 51.
- [25] Melo P, Graham D J, Levinson D, et al. Agglomeration, Accessibility and Productivity: Evidence for Large Metropolitan Areas in the US[J]. Urban Studies, 2017,54(1):179-195.

- [26] 方时姣, 肖权. 中国区域生态福利绩效水平及其空间效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(03):1-10.
- [27] Glaeser E L, Ponzetto G A M, Zou Y. Urban Networks: Connecting Markets, People, and Ideas[J]. *Papers in Regional Science*, 2016, 95(1):17-59.
- [28] Zou Y, Lu Y, Cheng Y. The impact of polycentric development on regional gap of energy efficiency: A Chinese provincial perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 224(JUL. 1):838-851.
- [29] Nasir M A, Toan Luu Duc H, Huong Thi Xuan T. Role of financial development, economic growth & foreign direct investment in driving climate change: A case of emerging ASEAN[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 242:131-141.
- [30] Ramanathan R, He Q, Black A, et al. Environmental regulations, innovation and firm performance: A revisit of the Porter hypothesis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017.
- [31] Jin W, Zhang H Q, Liu S S, et al. Technological innovation, environmental regulation, and green total factor efficiency of industrial water resources[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211(FEB. 20):61-69.
- [32] 李成宇, 张士强, 张伟, 廖显春. 中国省际生态福利绩效测算及影响因素研究[J]. 地理科学, 2019, 39(12):1875-1883.
- [33] 李江龙, 徐斌. “诅咒”还是“福音”:资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?[J]. 经济研究, 2018, 53(09):151-167.
- [34] 郑建锋, 陈千虎. 单中心还是多中心?——中国城市内部空间结构演进的特征及解释[J]. 中国经济问题, 2019(02):93-105.
- [35] Li Y, Liu X. How did urban polycentricity and dispersion affect economic productivity? A case study of 306 Chinese cities [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2018.
- [36] Wang S, Wang J, Fang C, et al. Estimating the impacts of urban form on CO2 emission efficiency in the Pearl River Delta, China[J]. *Cities*, 2018, 85.
- [37] Li Y, Zhu K, Wang S. Polycentric and Dispersed Population Distribution Increases PM2.5 Concentrations: Evidence from 286 Chinese Cities, 2001-2016[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019b, 248:119202.
- [38] Liu X, Derudder B, Wang M. Polycentric urban development in China: A multi-scale analysis[J]. *Environment and Planning*, 2018, 45(5):953-972.
- [39] 龙亮军, 王霞. 上海市生态福利绩效评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(02):84-92.
- [40] 龙亮军. 基于两阶段 Super-NSBM 模型的城市生态福利绩效评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(07):1-10.
- [41] Maly J. Impact of Polycentric Urban Systems on Intra-regional Disparities: A Micro-regional Approach[J]. *European Planning Studies*, 2016, 24(1):116-138.
- [42] Green N. Functional polycentricity: A formal definition in terms of social network analysis [J]. *Urban Studies*, 2007, 44(11):2077-2103.
- [43] Liu X, Wang M. How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 151:10-20.
- [44] 马秀馨, 刘耀林, 刘艳芳, 江平, 安子豪, 张翔晖. 时间异质性视角下对中国城市形态多中心性演化的探究[J]. 地理研究, 2020, 39(04):787-804.
- [45] Bian J, Zhang Y, Shuai C, Shen L, Ren H, Wang Y. Have cities effectively improved ecological well-being performance? Empirical analysis of 278 Chinese cities [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 245.

Urban Polycentric Structure and Ecological Well-being Performance

Zou Xuan and Duan Xialei

(School of Economics and Trade, Hunan University, Changsha, Hunan Province, 410006)

Abstract: With the acceleration of China's urbanization process, the population size of large and medium cities continues to expand. Subject to the rigid constraints of resources and the environment, the urban problems brought about by the excessively large urban population have become prominent. The urban polycentric structure opens up new spaces for production and life by guiding the population and enterprises to disperse to different centers, and provides a solution to the current large and medium-sized city expansion problems. Although the urban polycentric structure is considered to be an important strategy for urban spatial development, it is still an unresolved research problem. Starting from the concept of "strong sustainable development" and the concept of ecological well-being, this article analyzes the impact of urban polycentric structure on ecological well-being performance based on a new perspective for evaluating ecological well-being performance deviated from ecological efficiency and human welfare, gives an empirical test based on 35 major cities in China. It also explores the internal mechanism between the urban polycentric structure and ecological well-being performance which provides a basic basis for guiding the future spatial development and sustainable development of large and medium cities in China. We find that the impact of urban polycentric structure on ecological well-being performance is positive significantly. Regardless of whether it is divided according to the traditional economic development level or according to the ecological carrying capacity, this impact in Midwestern is greater than that in Eastern. And population size and the information technology network have positive moderation roles, this impact comes from three mediation effects, including the optimization of industrial structure, the promotion of factor flow, and the reduction of pollution.

Keywords: Urban polycentric structure; Ecological well-being performance; moderation effect; mediation effect

