

京津冀城市群城镇化与创新的耦合过程与机理

马海涛¹, 卢 硕^{1,2}, 张文忠¹

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
2. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475001)

摘要: 城市群是国家新型城镇化的主体形态,也是创新的孵化器;城市群区域的城镇化子系统与创新子系统之间理论上存在复杂交互关系。京津冀城市群是国家新型城镇化规划确定的国家级城市群,并将“全国创新驱动经济增长新引擎”作为其核心功能定位,因此有必要探索京津冀城市群的城镇化过程与创新发展之间的耦合关系,这对理解城镇化与创新之间的关系和京津冀城市群的发展问题都有裨益。通过梳理城镇化与创新两个子系统之间的内在理论关系,构建城镇化与创新的综合评价指标体系,借助耦合协调度模型和地理探测器因子探测方法,分析京津冀城市群城镇化与创新两子系统之间的耦合协调关系演变过程及作用机理。研究发现:①京津冀城市群城镇化和创新的综合水平都呈现稳步增长的趋势,城镇化与创新的耦合协调关系总体向好的方向发展,但综合水平和耦合关系的空间差异都较大;②创新滞后是京津冀城市群城镇化与创新耦合协调水平提升的关键阻力,近年京津冀城市群地区及多数城市表现为创新滞后的耦合协调类型;③京津冀城市群城镇化与创新的交互影响非常显著,特别是经济城镇化和社会城镇化对创新的影响、创新资源对城镇化的影响表现比较突出。

关键词: 城市群;城镇化;创新;耦合协调关系;地理探测器;京津冀

DOI: 10.11821/dlyj020181155

1 引言

戈特曼(Gottmann)最初解释城市群的内涵时,就指出城市群具有创新孵化器的特征,有利于产生新知识、新趋势和新方式。如今,城市群成为中国城镇化的主体形态,在《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》中被明确指出^[1],再一次引起高度关注^[2]。事实上,城市群既是创新极具活力的区域,也是城镇化的高水平发展区域。例如美国旧金山湾区城市群就是世界闻名的创新高地;珠三角城市群的自创区2016年发明专利授权数量达到3.74万件,占中国大陆的9%^[3];中国沿海三大国家级城市群——京津冀、长三角和珠三角城市群2016年的城镇化水平分别达到了63%、69%和86%,大大高于国家平均水平的57%,同时也是国家最具影响力和竞争力的创新中心。那么城市群发展过程中的城镇化与创新两个子系统间存在怎样的相互作用关系?是一个非常值得探讨的话题。

实际上区域创新和城镇化之间的关系已得到关注,大致存在两种观点。一种观点认为区域创新会推动城镇化的发展。例如郑凌霄运用灰色关联度模型,对江苏省科技创新投入与新型城镇化发展的关联性进行了实证分析,指出科技经费投入、科技活动人员投入及政府科技拨款对江苏省新型城镇化的发展都有较强的推动作用^[4]。王文寅等研究发现

收稿日期: 2018-10-23; 修订日期: 2018-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41590842, 41971209, 41571151)

作者简介: 马海涛(1979-),男,山东滕州人,博士,副研究员,主要从事城市网络与创新方面的研究。

E-mail: maht@igsnr.ac.cn

创新投入、创新产出能力和创新环境都可以促进新型城镇化的发展，特别是对城镇化过程中基础设施改善的影响最为显著^[5]。另一种观点认为城镇化可以促进区域创新发展。Jacobs很早就指出城市具有相比乡村更具竞争性的市场结构，会有助于创新的产生和知识的积累^[6]。程开明认为提升技术创新能力是实现城市可持续发展的重要途径，城镇化对技术创新具有显著的促进作用^[7]。而实际上，区域创新与城镇化之间存在着交互影响、协同发展的关系。比如，仇怡研究表明中国的城镇化是促进技术创新的重要因素，而城镇化又通过创新效应显著地驱动了中国的技术进步^[8]。甄晓非则认为科技创新是新型城镇化发展的动力源泉，而新型城镇化又为科技创新提供了广阔平台^[9]。上述研究推进了城镇化与创新的关系认知，但缺少对城市群群的专门研究，对同时具有较高城镇化水平和创新能力的城市群地区而言，二者关系更值得专门探索。

京津冀城市群是国家新型城镇化规划确定的国家级城市群，具有较高的城镇化水平；同时京津冀城市群是全国创新要素的聚集地，著名高校和科研机构众多，高素质人力资源以及科技创新成果丰富，高技术产业发展迅速，并将“全国创新驱动经济增长新引擎”作为其核心功能定位。然而，目前京津冀城市群各城市的创新能力差异显著，协同创新发展的能力不足，创新要素流动受到束缚，这些问题越来越成为阻碍城市群城镇化健康发展的障碍；但学术界对缺少对京津冀城市群城镇化与创新关系的实证研究。

鉴此，在梳理城市群城镇化与创新之间理论关系的基础上，构建城镇化和创新的综合评价指标体系，借助耦合协调度测算模型和地理探测器方法，对京津冀城市群及其13个地级以上城市2000—2015年的耦合关系进行研究，以期对京津冀城市群的城镇化与创新互动协调发展提供参考。

2 城市群城镇化与创新的理论关系

根据空间经济增长理论，城镇化的发展可为区域创新提供资金及空间，并创造了大量的科技需求；区域创新能力的提高，产生知识溢出效应，促进了技术升级和成果转化，提高了要素空间集聚的外部经济性，会促使城镇化高质量发展^[10,11]。如果将城市群发展视作一个复杂系统，其城镇化子系统和创新子系统之间理论上应是一种类似生物信息学中DNA结构的双螺旋结构（图1）。一方面城镇化子系统与创新子系统是互为基础和互为动力的，两个子系统相互缠绕、协同上升，共同促进城市群发展；另一方面，两个子系统对于城市群发展的正向驱动作用程度也是相互影响的，其自身结构环节相互传导，形成紧密的循环圈。城镇化与创新两个子系统之间的双螺旋耦合关系反映的协同性和传导性是影响城市群发展的重要模式。

双螺旋耦合关系从宏观视角表达了城市群城镇化与创新两个子系统之间的关系，但两个子系统间关系的理论“黑箱”还需要进一步打开。如果将集聚效应和溢出效应纳入城镇化子系统与创新子系统之间的关系框架，会对二者关系的理解产生积极作用，而且不少经典研究能够提供理论支撑。马歇尔确定了生产要素集聚于城市的3个驱动因素：一是聚集能够促进专业化投入和服务的发展；二是企业聚集于一个特定的空间能够促使

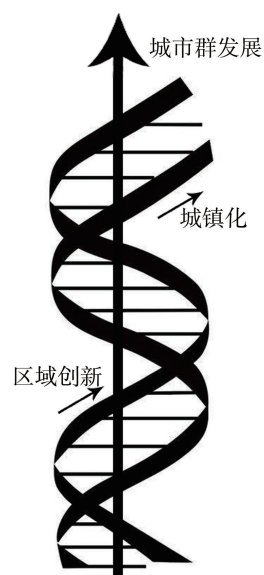


图1 城市群城镇化与创新的双螺旋耦合关系示意图
Fig. 1 Double helix coupling model of urbanization

专业劳动需求的集中;三是产业聚集能够产生溢出效应^[12]。Fujita等为代表的新经济地理学派认为要素向城市集中驱动结构变动会促进创新产生和经济增长^[13]。集聚作用在城市发展过程中是不可或缺的, Gleaser指出城市发展会加快人力资本积累和生产要素的聚集^[14]。由此可以看出,城镇化过程是要素集聚的过程;而创新要素的集聚和创新环境的形成推动了创新产生。Crescenzi研究指出创新的形式从根本上受到与人口、产业专业化和基础设施禀赋相关的集聚力的驱动^[15];他在美国和欧盟创新能力差异的研究中,发现研发投资和人力投资的数量和质量是产生巨大差异的重要原因^[16]。Charlot等在法国城市外部性的研究中,发现人力资本具有明显的外溢效应,城市越大、人均受教育程度越高、工人间的交流越频繁,那么城市工人的创新性则更强^[17]。Trip提出创造力和创新在城市发展和城市间竞争中发挥重要作用,城市经济的“再生”应该建立在创造性技术基础上,创新工作是嵌入在城市社会经济环境中的^[18]。诺贝尔经济学奖获得者Romer认为知识和人力资本不仅能自身形成递增收益,而且能使资本和劳动等要素也产生递增收益,从而实现整个城市区域经济的规模收益递增^[19]。Krugman也发现知识报酬递增在城市经济增长中具有重要作用^[20]。可见,创新过程中的知识溢出及相关溢出效应又推动了城市经济的发展和城镇化系统的提升,城镇化子系统和创新子系统的各要素间形成了复杂的因果关系链。譬如,张汝飞等通过面板数据分析证实城市化对区域创新能力有较大的正向影响,通过城市化水平的提升能够有效促进区域创新能力的提高^[21]。虽然这些研究并非针对城市群地区,但为探讨城市群的城镇化与创新的关系奠定了良好理论基础。

若上述讨论聚焦到城市群区域,城镇化与创新的作用关系会得到强化^[22],并伴随有新的耦合“催化”动力。对城市群区域而言,一方面较高的城镇化水平加速了要素的空间集聚过程,并且城市群的核心城市加强了集聚效应,为生产要素在区域间的流动创造了条件,进而推动创新要素的集聚和创新的产生;另一方面较强的创新能力和较多的创新成果,能够通过城市群内部城市间的紧密联系得到就近溢出和快速扩散,使城市群内的人口和产业的集聚不断走向高端,进而推动城镇化向高水平发展^[23]。城市群的城镇化和创新相互作用,提高了空间集聚的外部经济性,促进了城市群的发展。

综上,城市群区域的城镇化子系统和创新子系统通过集聚效应和溢出效应建立了复杂而紧密的关系,两个子系统相互耦合作用共同推动了城市群的发展。城镇化过程通过城镇人口、建设用地、非农产业和基础设施在城市的空间集中,推动了人力、资金、产业和公共服务等的要素集聚,而这些要素集聚则是形成创新子系统的重要条件,集聚了创新资源,营造了创新环境,提升了创新能力。城市群的创新过程又通过溢出效应反作用于城镇化,新技术成果的推广和应用、知识流动和交流的加强、知识型经济的发展都会推动城市群内部的城镇化过程良性发展并走向高端(图2)。

3 研究方法 with 数据来源

3.1 研究方法

3.2.1 城镇化与创新的测度指标体系 遵循指标选择的科学性和独立性原则,依据相关研究^[24,25],构建了京津冀城市群城镇化子系统和创新子系统的综合评价指标体系。其中城镇化子系统包括人口城镇化、经济城镇化、空间城镇化和社会城镇化4个一级指标及16个二级指标(表1)。创新子系统包括创新资源、创新能力和创新环境3个一级指标及10个二级指标(表2)。值得说明的是,外部投资对技术创新具有显著影响,外商直接投资可以产生技术外溢,带动技术升级,并间接作用于城镇化发展,因此在指标体系中加入了

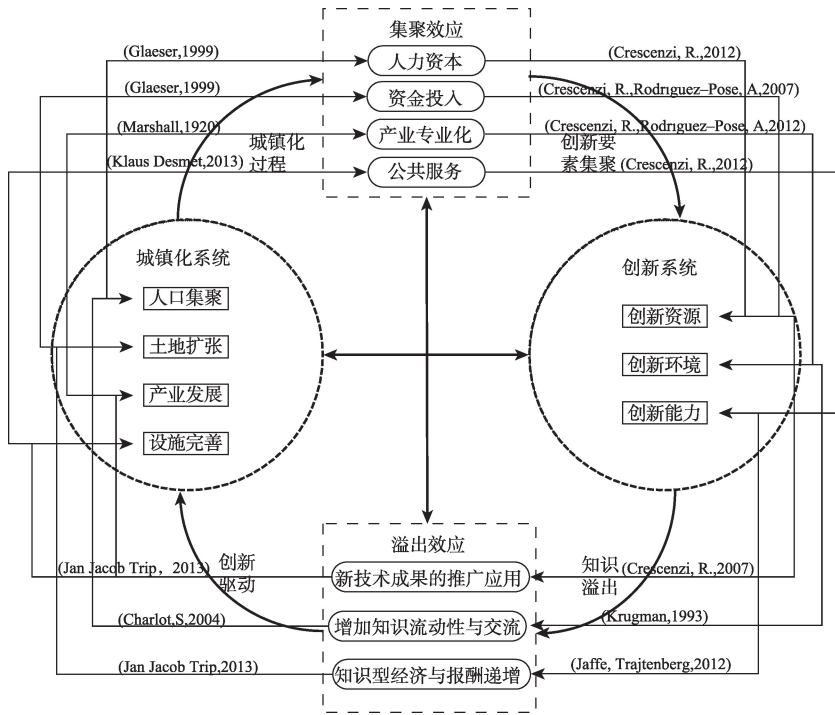


图2 城镇化与区域创新的作用机理示意图

Fig. 2 Mechanism of urbanization and regional innovation

实际利用外资、经济外向度指标来表征外部投资对区域创新的影响^[26]。其中经济外向度指标用对外贸易总额与GDP的比重算得。

为了消除创新子系统与城镇化子系统指标之间不同量纲可能造成的影响，对各指标数据进行标准化处理。公式如下：

$$r_{ij} = \begin{cases} x_{ij} - \min(x_{ij}) / \max(x_{ij}) - \min(x_{ij}), & r_{ij} \text{ 为正向指标} \\ \max(x_{ij}) - x_{ij} / \max(x_{ij}) - \min(x_{ij}), & r_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (1)$$

式中： x_{ij} 为指标数据原始值； r_{ij} 为第*i*个系统的第*j*个指标； $\max(x_{ij})$ 和 $\min(x_{ij})$ 分别为第*j*个指标的最大值和最小值。经过公式（1）的处理，所有指标值都在[0, 1]范围内。

在处理城镇化子系统与创新子系统的指标权重时，由于考虑到每一种赋权法都有一定局限性，为了降低多种赋权法所带来的差异性，本研究选择了主观赋权法（AHP层次分析法）^[27]和客观赋权法（熵值法）^[28]确定各指标的权重，然后通过计算权重的均值得到综合权重（表1、表2）。这在一定程度上缩小了单一指标赋权法的局限性。

3.2.2 耦合度与耦合协调度模型 耦合原为物理学概念，是指两个或两个以上系统通过各种相互作用而彼此影响的现象。耦合度则是用来反映各系统之间相互作用、彼此影响的强度。学界通常借鉴物理学中的容量耦合系数模型推广得到两个或多个系统的相互作用耦合度模型^[29,30]：

$$C_n = \left\{ \left[(m_1 \times m_2 \times \dots \times m_n) / (m_1 + m_2 + \dots + m_n / n)^n \right] \right\}^{1/n} \quad (2)$$

基于此推演得到城镇化子系统与创新子系统相互作用耦合度模型，公式如下：

表1 城镇化子系统的评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of urbanization

系统层	目标层 (权重)	指标层	熵值法	AHP法	综合权重
城镇化系统	人口城镇化 (0.15)	城镇化水平 (%)	0.07	0.07	0.07
		建成区人口密度 (万人/km ²)	0.08	0.04	0.06
		第二、第三产业从业人员占比 (%)	0.01	0.03	0.02
	经济城镇化 (0.32)	人均GDP (元)	0.06	0.04	0.05
		第二、第三产业增加值占GDP比例 (%)	0.01	0.03	0.02
		人均全社会固定资产投资 (元/人)	0.06	0.04	0.05
		人均社会消费总额 (元/人)	0.05	0.07	0.06
		人均地方财政收入 (元/人)	0.18	0.10	0.14
	空间城镇化 (0.41)	城市建设用地占市区面积比例 (%)	0.08	0.06	0.07
		人均城市道路面积 (m ² /人)	0.08	0.06	0.07
		人均建设用地面积 (m ² /人)	0.08	0.12	0.10
		地均GDP (亿/ km ²)	0.11	0.05	0.08
		地均固定资产投资额 (亿/ km ²)	0.08	0.10	0.09
	社会城镇化 (0.12)	城镇居民人均可支配收入 (元)	0.02	0.04	0.03
		每万人卫生机构床位数 (张/万人)	0.01	0.05	0.03
		每万人互联网上网数 (人)	0.02	0.10	0.06

表2 创新子系统的评价指标体系

Tab. 2 Evaluation index system of innovation

系统层	目标层 (权重)	指标层	熵值法	AHP法	综合权重
创新系统	创新资源 (0.39)	每万人科研技术人员数 (人)	0.18	0.22	0.20
		科技支出占公共财政支出比例 (%)	0.09	0.05	0.07
		平均受教育年限 (年)	0.04	0.06	0.05
		每万人在校大学生数 (人)	0.11	0.03	0.07
	创新环境 (0.48)	每百人公共图书馆藏书 (册、件)	0.21	0.13	0.17
		人均实际利用外资 (亿美元/人)	0.14	0.16	0.15
		经济外向度 (%)	0.08	0.08	0.08
		每万人普通高等学校数量 (所)	0.01	0.15	0.08
	创新能力 (0.13)	每万人专利授权数 (件)	0.12	0.08	0.10
		科技进步贡献率 (%)	0.02	0.04	0.03

$$C = \left\{ f(u) \times g(i) / \left[\left(\frac{f(u) + g(i)}{2} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (3)$$

式中: C 为城镇化与创新两个子系统的耦合度; $f(u)$ 和 $g(i)$ 分别为城镇化子系统和创新子系统的综合评价指数,用于表示两个系统的综合发展水平。耦合度模型能够反映城镇化与创新耦合的程度(系统间相互影响程度),但难以体现系统各自的发展水平;比如当创新能力和城镇化水平均很低时,两者的耦合度也很高。因此,构建了城镇化子系统与创新子系统的耦合协调度模型来反映两个子系统实际发展中的协调发展水平^[31,32],公式如下:

$$D = (C \times T)^{1/2}, \text{ 其中, } T = \alpha f(u) + \beta g(i) \quad (4)$$

式中： D 为耦合协调度； T 为城镇化与创新的综合协调指数，体现二者的整体发展水平对协调度的贡献； α 、 β 为待定系数，分别表示城镇化与创新的贡献份额。结合相关研究^[33,34]，将 α 、 β 分别赋值0.5。

考虑到城镇化子系统和创新子系统耦合协调度的大小^[35]，将耦合协调度划分为4个大类、12个亚类（表3）。

3.2.2 地理探测器 地理探测器由WANG等提出，用于探测地理事物空间分布的差异性，从而探明其作用机理，包含因子探测器、风险探测器、交互作用探测器、生态探测器等多种方法^[35]。其中因子探测器通过比较每个子区域的累计方差与整个研究区域的方差，寻找可能影响事件发生的风险因子^[36,37]，适用于本研究关系机理的探讨，公式如下：

$$q = 1 - 1 / N \sigma^2 \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (8)$$

式中： q 为城镇化影响因素探测力指标； N_h 为次一级区域样本数； N 为整个区域样本数； L 为次级区域个数；整个区域 σ^2 为方差； σ_h^2 为次一级区域的方差。城镇化子系统和创新子系统的 q 值由其分指标3个时间段的平均值求和得到。

3.2 数据来源

本研究的案例区域为京津冀城市群，包括北京、天津两个直辖市和河北省11个地市级市。城市群区域及各城市的统计数据主要来源于《中国统计年鉴》（2001—2016年）、《中国城市统计年鉴》（2001—2016年），部分数据来自京津冀各地市统计年鉴（2001—2016年）以及统计公报及城市官方网站，其中，人均GDP等价值型指标做不变价预处理，构建了2000—2015年京津冀城市群城镇化和创新两个子系统的数据库。

表3 城镇化与创新的耦合协调类型划分标准

Tab. 3 Types of urbanization and innovation coordination

耦合协调度	类型		亚类
0.8 < D ≤ 1	高级协调	$g(I)-f(U) > 0.1$	高级协调-城镇化滞后
		$f(U)-g(I) > 0.1$	高级协调-创新滞后
		$0 \leq f(U)-g(I) \leq 0.1$	高级协调
0.5 < D ≤ 0.8	基本协调	$g(I)-f(U) > 0.1$	基本协调-城镇化滞后
		$f(U)-g(I) > 0.1$	基本协调-创新滞后
		$0 \leq f(U)-g(I) \leq 0.1$	基本协调
0.3 < D ≤ 0.5	基本不协调	$g(I)-f(U) > 0.1$	基本不协调-城镇化滞后
		$f(U)-g(I) > 0.1$	基本不协调-创新滞后
		$0 \leq f(U)-g(I) \leq 0.1$	基本不协调
0 < D ≤ 0.3	严重不协调	$g(I)-f(U) > 0.1$	严重不协调-城镇化滞后
		$f(U)-g(I) > 0.1$	严重不协调-创新滞后
		$0 \leq f(U)-g(I) \leq 0.1$	严重不协调

4 结果分析

4.1 京津冀城市群城镇化与创新的综合水平演变

2000—2015年间京津冀城市群的城镇化综合水平和创新综合水平总体保持上升态势。城市群的城镇化综合指数平均值由2000年的0.117提升到2015年的0.334，创新综合

指数平均值由2000年的0.090提升到2015年的0.210。

从空间格局演变上看,各城市普遍的增长与始终存在的差距是其鲜明特征。京津冀城市群的城镇化综合水平总体增长明显。2000年仅有北京和天津的城镇化综合评价指数超过0.2,而2015年所有13个地级市全部超过0.2。北京和天津两市各年度都是遥遥领先,2015年均突破0.6,成为城镇化水平最高的城市。石家庄、廊坊、唐山的城镇化综合评价指数增长也较快,2015年超过了0.35,缩小了与京津两市的差距(图3)。京津冀城市群的创新综合评价指数年度差异和增长差异都很明显。北京的创新指数在2015年更是达到了0.74,而且有较大增长幅度;而河北省各地级市创新指数相对较低,到2015年都未超过0.4。河北省除了石家庄和秦皇岛两市创新指数在十五年间增幅较大外,其他各市增幅缓慢,与京津两市的差距继续拉大(图4)。

从城镇化与创新的关系变化来看,可以划分为4个类型:关系保持型、差距缩小

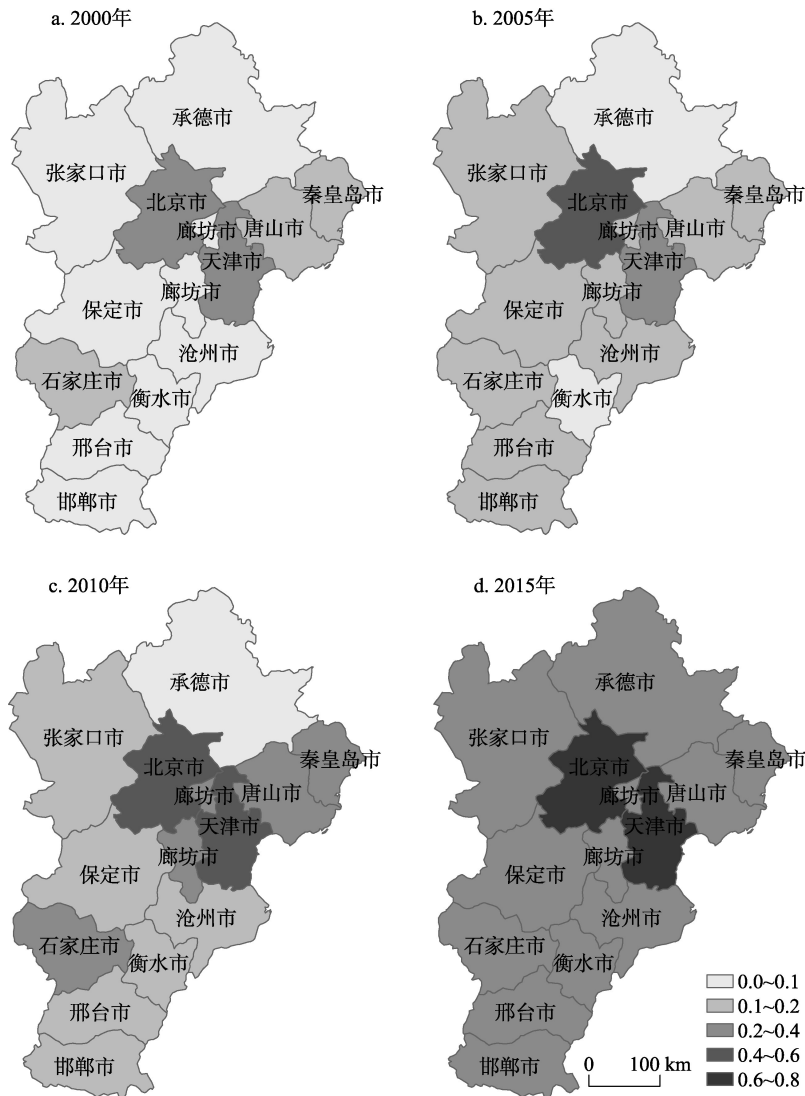


图3 城镇化综合评价指数空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of urbanization comprehensive evaluation index

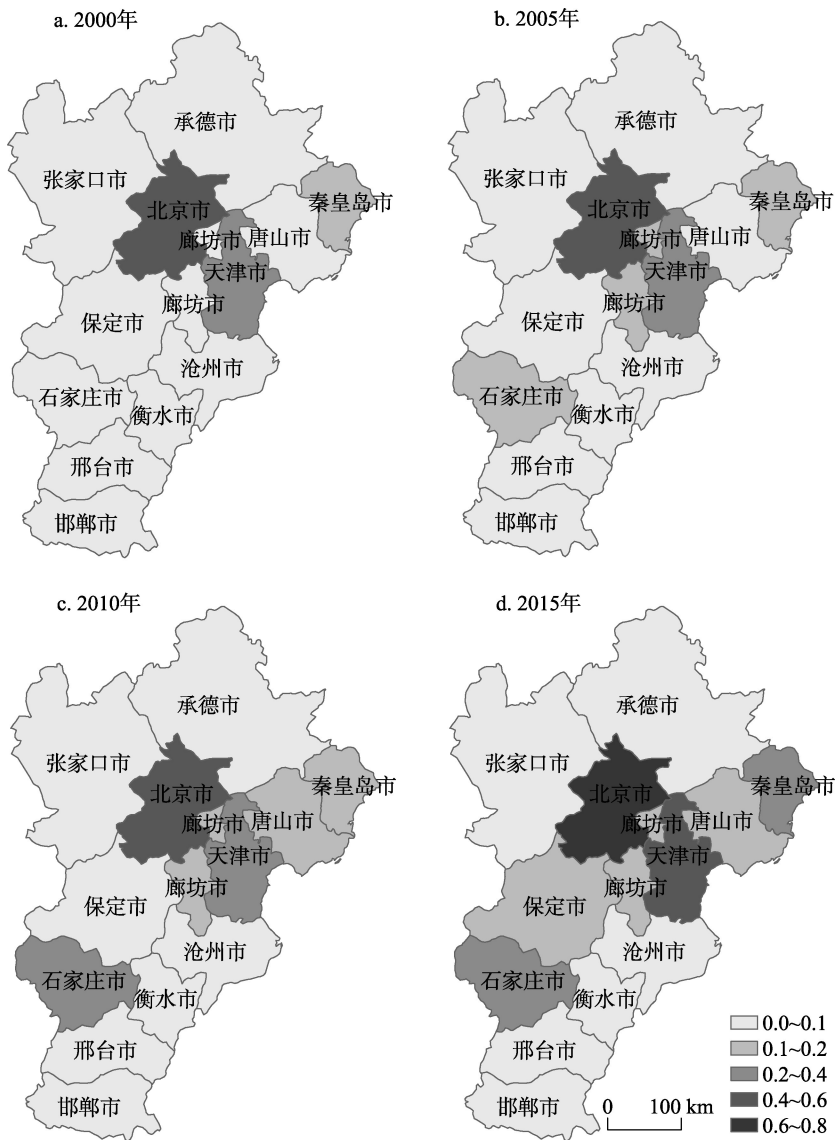


图4 创新综合评价指数空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of innovation comprehensive evaluation index

型、差距扩大型和交错发展型。关系保持型表现为城镇化综合评价指数与创新综合评价指数始终保持一种关系发展，差距和增速比较一致，保定属于这一类型。差距缩小型表现为城镇化评价综合指数与创新评价综合指数二者差距不断缩小，在13个城市中仅有北京较为明显，城镇化综合指数增速大大高于创新增速，2015年的城镇化综合评价指数达到0.698，逼近创新综合评价指数。差距扩大型表现为城镇化综合评价指数与创新综合评价指数二者差距不断扩大，天津和河北省大部分城市属于此种类型，主要原因在于这些城市的创新综合评价指数普遍较低而且相对城镇化而言增速较慢。交错发展型表现为两个指数此消彼长、互相赶超，比如石家庄和秦皇岛（图5）。

4.2 京津冀城市群城镇化与创新的耦合协调程度演变

总体上看京津冀城市群城镇化与创新的耦合度呈现出先上升后下降的趋势（2005年

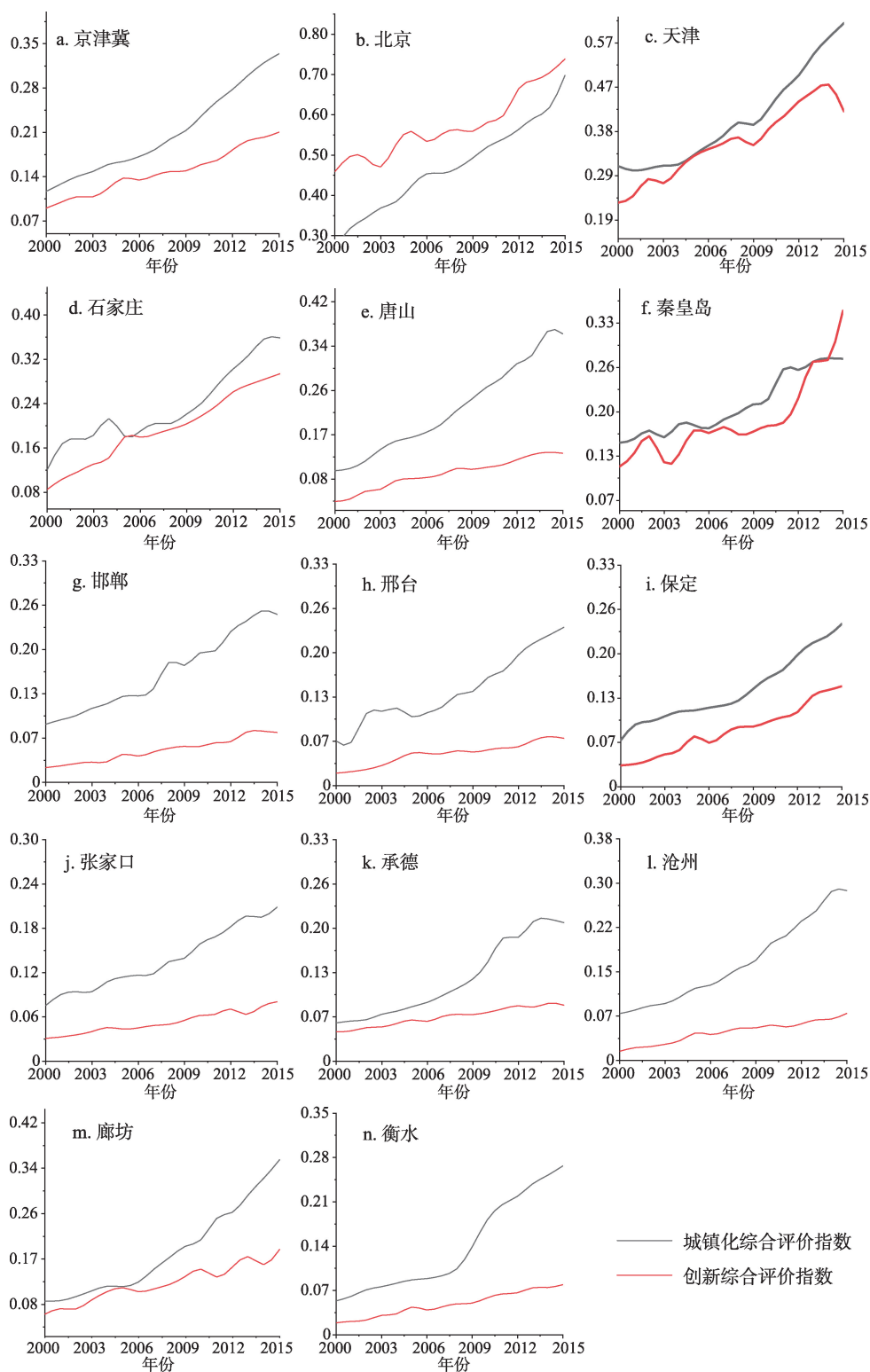


图5 2000—2015年京津冀城市群城镇化与创新的综合指数演变

Fig. 5 The evolution of the comprehensive index of urbanization and innovation in BTH urban agglomeration from 2000 to 2015

峰值),耦合协调度呈现出稳步上升态势(2015年最高)。从13个地级市耦合度曲线对比来看,北京、天津、石家庄和秦皇岛的耦合度长期处于高度耦合的平稳状态,其余城市波动较大。邯郸、保定波动上升明显,是河北省创新综合评价指数增长较快的城市;承德、廊坊和衡水在波动均有不同程度的下滑;邢台、沧州和衡水与城市群的趋势较为一致,呈现先增后降态势。从耦合协调度曲线对比来看,在考虑了子系统本身的变化之后(耦合度仅关注两个子系统间得分的差异程度),所有城市耦合协调度均呈现上升态势,其中北京最高,天津次之,河北11个地级市普遍较低。由于京津冀城市群及其13个地级市的城镇化综合协调指数与创新综合协调指数均呈现上升趋势,对耦合协调度的发展产生了正向影响(图6)。

4.3 京津冀城市群城镇化与创新的耦合协调关系类型演变

依据城镇化与创新的耦合协调类型划分标准(表3),将2000—2015年京津冀城市群及13个地级市的城镇化与创新的耦合协调程度划分成4大类和12小类(表4),展示耦合协调水平所属类型和所处阶段。①从大类的类型变化上看,除了天津始终处于基本协调类型外,其余12个城市的耦合协调关系类型都经历了转变,具体说是经历了类型升级。北京从基本协调类型升级到高级协调类型;石家庄、秦皇岛和廊坊从基本不协调类型进入基本协调类型;唐山等8个地级市从严重不协调类型进入了基本协调类型。②从类型格局的演变上看,虽然类型差异始终存在,所有年份均存在不同耦合协调类型;但出现了类型的总体升级。譬如在2010年以后,所有城市耦合协调度超过0.4,脱离了严重不协调类型;在2014年以后,出现了高级协调类型;在2015年基本协调以上类型的城市增加到5个。河北与京津的差距非常明显,除石家庄、秦皇岛和廊坊之外,其余城市都属于严重不协调类型(前期)和基本不协调类型(后期)。③从耦合协调度小类类型的演化路径看,创新滞后特征明显。京津冀城市群经历了“严重不协调→基本不协调→基本不协调-创新滞后”不同类型阶段,协调程度逐渐升级;其创新滞后的特征凸显,成为拉低城市群耦合协调水平的重要原因。从各城市来看,一方面,除了北京,其余所有城市的所有类型中均未出现城镇化滞后的类型;另一方面,河北除了石家庄、秦皇岛、保定,其余所有城市在这一时期均出现过创新滞后类型。可见,创新滞后不仅是拉低京津冀城市群城镇化与创新耦合协调水平的原因,也是拉低绝大部分城市城镇化与创新耦合协调水平的原因。

4.4 京津冀城市群城镇化与创新的耦合协调交互机理

运用地理探测器的因子探测模型对京津冀城市群城镇化与创新的交互作用机理进行分析,分别探测了城镇化子系统所有指标对创新综合指数的决定力和创新子系统所有指标对城镇化综合指数的决定力。考虑到研究阶段涵盖了“十五”(2001—2005年)、“十一五”(2006—2010)、“十二五”(2011—2015)3个五年规划,同时为了提高地理探测器因子探测的显著性,分别对3个五年规划期内的交互作用进行因子探测。

从城镇化子系统所有指标对创新综合指数的探测结果看(表5),除城市建设用地占市区面积比重指标外,城镇化其余13个指标的 P 值均达到0.05显著水平,表明京津冀城市群的城镇化对创新的影响具有强显著性。在3个五年规划期间,人均城市道路面积和人均地方财政收入这两个指标的决定力呈现增长态势,对京津冀城市群创新能力的影响逐年扩大;人均全社会固定资产投资、每万人互联网上网数、每万人卫生机构床位数、人均GDP、城市建设用地占市区面积比重和城镇居民人均可支配收入这6个指标的决定力明显下滑,社会城镇化对京津冀城市群的创新能力的影 响在逐步减弱。相比而言,人均社会消费总额在3个五年规划期间对京津冀城市群创新的决定力明显高于其他指标,

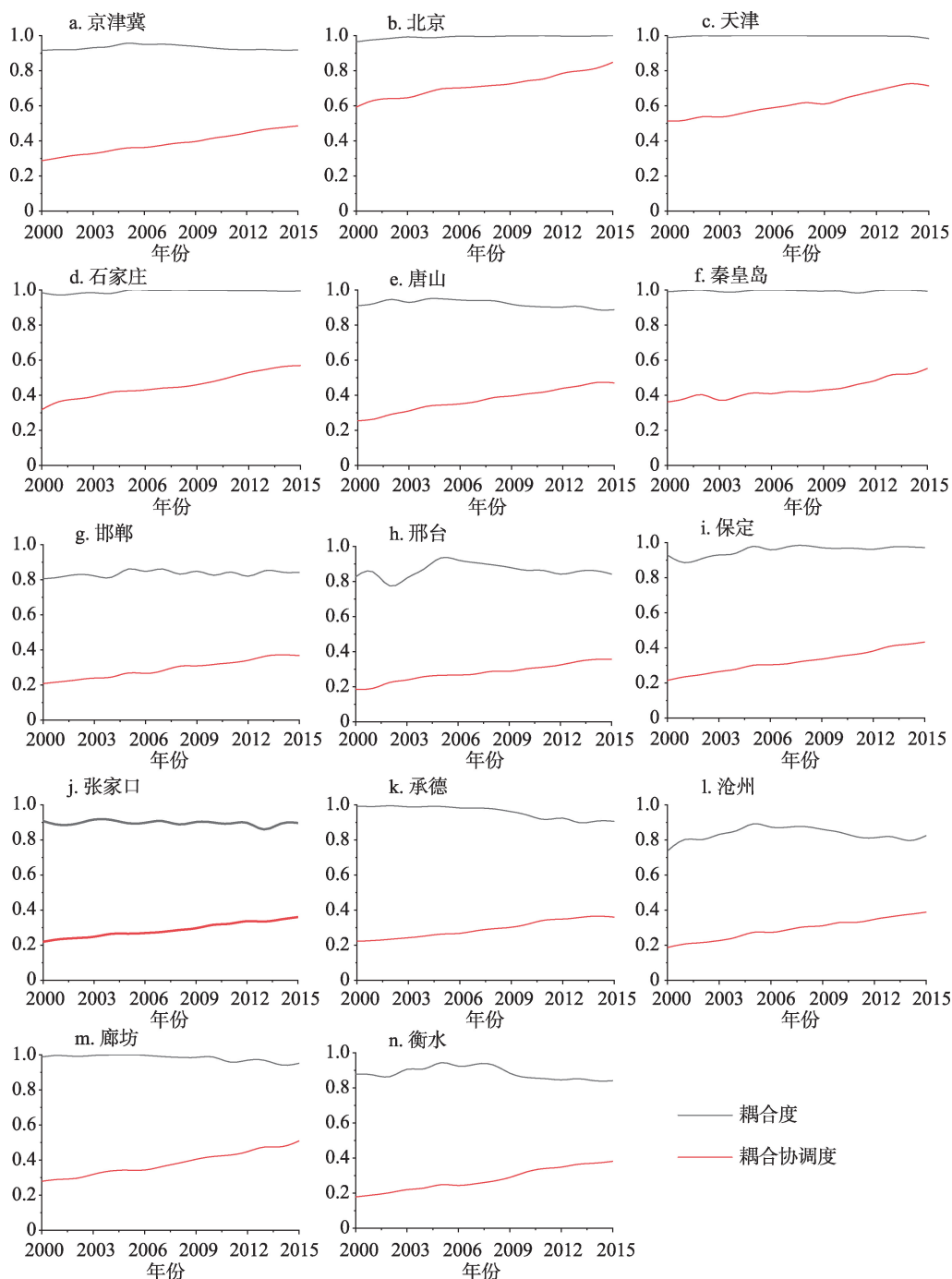


图6 京津冀城市群城镇化与区域创新耦合协调度演变趋势

Fig. 6 Evolutionary trend of urbanization and innovation coordination of BTH urban agglomeration

反映出消费在这一时期对京津冀城市群创新的重要作用。从2001—2015年全时段城镇化4个子系统的综合 Q 值来看,京津冀城市群的经济城镇化(0.70)、人口城镇化(0.65)、社会城镇化(0.69)和空间城镇化(0.67)对创新综合指数均具有较强决定力。值得关注

表4 2000—2015年城镇化与创新的耦合协调类型演进

Tab. 4 Coupling types of urbanization and innovation from 2000 to 2015

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
京津冀	I 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
北京市	III 3	III 3	III 3	III 3	III 3	III 3	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	IV 1	IV 1
天津市	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1
石家庄	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	III 1	III 1	III 1	III 1	III 1
秦皇岛	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	III 1	III 1	III 1
廊坊市	I 1	I 1	I 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 2	II 2	II 2	II 2	III 2
唐山市	I 1	I 1	I 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
保定市	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1	II 1
邯郸市	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
沧州市	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
承德市	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 1	II 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
邢台市	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
张家口	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2
衡水市	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	I 1	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2	II 2

注：① I 1:严重不协调； I 2:严重不协调-创新滞后； I 3:严重不协调-城镇化滞后； II 1:基本不协调； II 2:基本不协调-创新滞后； II 3:基本不协调-城镇化滞后； III 1:基本协调； III 2:基本协调-创新滞后； III 3:基本协调-城镇化滞后； IV 1:高级协调； IV 2:高级协调-创新滞后； IV 3:高级协调-城镇化滞后。② 不同颜色代表不同耦合协调类型：
 严重不协调 基本不协调 基本协调 高级协调

表5 城镇化子系统及指标对创新综合指数的显著性及其决定力

Tab. 5 Significance and determination of urbanization subsystems and indicators to the innovation comprehensive index

城镇化子系统	Q (2001—2015年)	城镇化指标	2001—2005年		2006—2010年		2011—2015年	
			Q	P	Q	P	Q	P
人口城镇化	0.65	城镇化水平	0.85	0.000	0.81	0.000	0.83	0.000
		建成区人口密度	0.70	0.000	0.88	0.000	0.87	0.000
		第二、第三产业从业人员占比	0.40	0.000	0.15	0.011	0.38	0.000
经济城镇化	0.70	人均GDP	0.81	0.000	0.76	0.000	0.53	0.000
		第二、第三产业增加值占GDP比例	0.26	0.004	0.25	0.002	0.65	0.000
		人均全社会固定资产投资	0.91	0.000	0.65	0.000	0.30	0.011
		人均社会消费总额	0.96	0.000	0.96	0.000	0.89	0.000
		人均地方财政收入	0.81	0.000	0.86	0.000	0.87	0.000
空间城镇化	0.67	城市建设用地占市区面积比例	0.40	0.003	0.28	0.031	0.16	0.219
		人均城市道路面积	0.38	0.000	0.62	0.000	0.67	0.000
		人均建设用地面积	0.70	0.000	0.85	0.000	0.83	0.000
		地均GDP	0.83	0.000	0.88	0.000	0.81	0.000
		地均固定资产投资额	0.90	0.000	0.89	0.000	0.84	0.000
社会城镇化	0.69	城镇居民人均可支配收入	0.92	0.000	0.86	0.000	0.82	0.000
		每万人卫生机构床位数	0.77	0.000	0.64	0.000	0.29	0.046
		每万人互联网上网数	0.87	0.000	0.68	0.000	0.35	0.000

注： P 值反映相应指标的显著性程度，小于0.05表示达到显著水平。

的是, 社会城镇化在3个五年规划期间的决定力表现出明显的下滑, 这正与国家在“十二五”末提出推进“新型城镇化”战略(更加强调社会城镇化)相契合; 如果京津冀城市群能够积极推进社会城镇化发展水平, 将有利于推进城市群未来的创新水平。

从创新子系统所有指标对城镇化综合指数的探测结果来看(表6), 除科技支出占公共财政支出比重指标外, 其余创新指标的 P 值均达到0.05显著水平, 表明京津冀城市群的创新对城镇化的影响具有强显著性。具体来看, 在3个五年规划期间, 反映创新环境的每万人高等学校数量指标、反映创新能力的每万人专利授权数指标、反映创新资源的科技支出占公共财政支出比重指标的决定力呈现持续增长态势, 对京津冀城市群城镇化发展的影响在逐年扩大; 而反映创新环境的平均受教育年限、每万人在校大学生数和人均利用外资额3个指标的决定力呈现持续下降趋势。从2001—2015年全时段创新3个子系统的综合 Q 值来看, 京津冀城市群的创新资源(0.67)、创新环境(0.64)对城镇化综合指数具有较强决定力, 而创新能力(0.51)对城镇化综合指数的决定力相对较弱。从3个五年规划的变化看, 创新资源和创新能力在“十二五”期间的决定力相比“十五”有较大幅度提升, 而创新环境在“十二五”期间的决定力相比“十五”都有所下降。可见京津冀城市群创新资源的集聚大大推动了城镇化进程; 伴随着创新驱动发展战略的实施, 京津冀城市群的创新能力提升和创新环境改善将会更有助于城镇化向更高水平发展。

表6 创新子系统及指标对城镇化综合指数的显著性及其决定力

Tab. 6 Significance and determination of innovation subsystems and indicators for urbanization comprehensive index

创新子系统	Q (2001—2015年)	创新指标	2001—2005年		2006—2010年		2011—2015年	
			Q	P	Q	P	Q	P
创新资源	0.67	每万人科研技术人员数	0.88	0.000	0.82	0.000	0.83	0.000
		科技支出占公共财政支出比例	0.04	0.382	0.65	0.000	0.80	0.000
创新环境	0.64	平均受教育年限	0.70	0.000	0.55	0.000	0.46	0.000
		每万人在校大学生数	0.64	0.000	0.52	0.000	0.43	0.000
		每百人公共图书馆藏书	0.83	0.000	0.90	0.000	0.80	0.000
		人均利用外资额	0.77	0.000	0.66	0.000	0.38	0.009
		经济外向度	0.88	0.000	0.90	0.000	0.80	0.000
		每万人高等学校数量	0.34	0.000	0.43	0.000	0.44	0.000
创新能力	0.51	每万人专利授权数	0.65	0.000	0.75	0.000	0.76	0.000
		科技进步贡献率	0.32	0.000	0.24	0.000	0.37	0.000

5 结论与讨论

(1) 京津冀城市群城镇化与创新的耦合协调关系总体向好的方向发展, 但空间差异较大。不管是城镇化综合指数, 还是创新综合指数, 在过去一段时间均呈持续上升态势, 也推动京津冀城市群城镇化与创新的耦合协调度不断向更高协调类型转变。然而, 城市群内部各城市的耦合协调水平存在较大落差, 表现为京津的高水平和河北11城市的整体低水平的明显差距。虽然河北省会和部分沿海城市发展较快, 但其大部分地级市有差距继续拉大趋向; 这对城市群总体协调水平的发展非常不利。

(2) 创新滞后是京津冀城市群城镇化与创新耦合协调水平提升的关键阻力。在对城镇化与创新耦合协调类型的判断中, 发现京津冀城市群在2007年之后一直表现为创新滞后的耦合协调类型, 而且多数城市在近些年的多个年份也表现为创新滞后的耦合协调类

型,可以明确断定过去一段时间影响京津冀城市群耦合协调水平的主要原因是创新水平对城镇化的支撑相对不足。

(3) 京津冀城市群城镇化与创新的交互影响显著,但各指标的决策力存在较大差异。运用地理探测器对京津冀城市群城镇化与创新的交互机理的研究结果,证实了城镇化与创新交互关系的存在,也探测出了京津冀城市群的城镇化与创新的具体交互关系及决策力程度,发现创新能力对城镇化的促进作用相对不足,未来需要加以重视。

城市群区域的城镇化子系统与创新子系统理论上应是一种螺旋上升的耦合协调发展关系,但每个城市群的城镇化与创新耦合协调发展的过程和内在关系可能存在差异。本文对京津冀城市群的案例研究探测出了这一城市群城镇化与创新的具体交互关系,但不能代表其他城市群,也不能代表京津冀城市群的将来;对城市群这一特定区域的城镇化与创新耦合关系研究还需要更多案例研究和跟踪研究。由于数据样本的考虑,仅对京津冀城市群区域进行探测,未来在时间序列数据充足的情况下会继续对不同城市进行分别探测及对比研究,将会更有助于城市群城镇化与创新的交互机理分析。

参考文献(References)

- [1] 国家发展和改革委员会. 国家新型城镇化报告2016. 北京: 中国计划出版社, 2017. [National Development and Reform Commission. National New Urbanization Report 2016. Beijing: China Planning Press, 2017.]
- [2] 马海涛, 黄晓东, 李迎成. 粤港澳大湾区城市群知识多中心的演化过程与机理. 地理学报, 2018, 73(12): 2297-2314. [Ma Haitao, Huang Xiaodong, Li Yingcheng. The evolution and mechanisms of megalopolitan knowledge polycentricity of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(12): 2297-2314.]
- [3] 中国建设银行科技金融创新中心. 2016珠三角企业创新报告. <http://static.nfapp.southcn.com>, 2016-05-06. [China Construction Bank Science and Technology Finance Innovation Center. 2016 Pearl River Delta Enterprise Innovation Report. <http://static.nfapp.southcn.com>, 2016-05-06.]
- [4] 郑凌霄. 科技创新投入与新型城镇化发展的关联性研究: 以江苏省为例. 农村经济与科技, 2014, 25(12): 176-178. [Zheng Lingxiao. Research on the correlation between science and technology innovation investment and new urbanization development: Taking Jiangsu province as an example. Rural Economy & Technology, 2014, 25(12): 176-178.]
- [5] 王文寅, 刘娇娇, 李永清. 科技创新能力对新型城镇化水平的影响: 以山西省为例. 经济问题, 2016, (11): 121-124. [Wang Wenyin, Liu Jiaojiao, Li Yongqing. The impact of technological innovation capability on the level of new urbanization: Taking Shanxi province as an example. Economic Issues, 2016, (11): 121-124.]
- [6] Jacobs J. The Economy of Cities. New York: Random House, 1969.
- [7] 程开明. 城市化促进技术创新的机制及证据. 科研管理, 2010, (2): 26-34. [Cheng Kaiping. The mechanism and evidence of urbanization promoting technological innovation. Research Management, 2010, (2): 26-34.]
- [8] 仇怡. 城镇化的技术创新效应: 基于1990—2010年中国区域面板数据的经验研究. 中国人口科学, 2013, (1): 26-35. [Qiu Yi. The technological innovation effect of urbanization: Based on the empirical study of China's regional panel data from 1990 to 2010. China Population Science, 2013, (1): 26-35.]
- [9] 甄晓非. 科技创新与新农村城镇化建设. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2013, 13(3): 33-37. [Zhen Xiaofei. Science and technology innovation and urbanization of new rural areas. Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition, 2013, 13(3): 33-37.]
- [10] Krugman P. Development, Geography, and Economic Theory. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.
- [11] 吴玉鸣, 徐建华. 中国区域经济增长集聚的空间统计分析. 地理科学, 2004, 24(6): 654-659. [Wu Yuming, Xu Jianhua. Spatial statistical analysis of regional economic growth cluster in China. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(6): 654-659.]
- [12] 马歇尔. 经济学原理. 北京: 商务印书馆, 1964. [Marshall. Principles of Economics. Beijing: The Commercial Press, 1964.]
- [13] Fujita M, Mori T. Structural stability and evolution of urban system. Regional Science and Urban Economics, 1997, 27(4): 299-442.
- [14] Glaeser E L. Learn in gincities. Journal of Urban Economics, 1999, 46(2): 254-277.
- [15] Crescenzi R, Rodriguez-Pose A, Storper M. The territorial dynamics of innovation in China and India. Journal of Economic Geography, 2012, (12): 1055-1085.
- [16] Crescenzi R, Rodriguez-Pose A, Storper M. The territorial dynamics of innovation: A Europe-United States comparative analysis. Journal of Economic Geography 2007, 7(6): 673-709.

- [17] Charlot S, Duranton G. Communication externalities in cities. *Journal of Urban Economics*, 2004, 6(3): 581-613.
- [18] Trip J J, Stefan K. The creative capital of cities: Interactive knowledge creation and the urbanization economies of innovation. *Journal of Housing & the Built Environment*, 2013, 28(2): 411-412.
- [19] Romer P M. Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 1986, 94(5): 1002-1037.
- [20] Krugman P. *Geography and Trade*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [21] 张汝飞, 赵彦云. 城市化与区域创新能力空间关系的实证考察. *统计与决策*, 2015, (3): 123-126. [Zhang Rufe, Zhao Yanyun. An empirical study on the spatial relationship between urbanization and regional innovation capability. *Statistics and Decision*, 2015, (3): 123-126.]
- [22] 关兴良, 魏后凯, 鲁莎莎, 等. 中国城镇化进程中的空间集聚、机理及其科学问题. *地理研究*, 2016, 35(2): 227-241. [Guan Xingliang, Wei Houkai, Lu Shasha, et al. Spatial agglomeration, mechanism and scientific problems in China's urbanization process. *Geographical Research*, 2016, 35(2): 227-241.]
- [23] 吴福象, 沈浩平. 新型城镇化、创新要素空间集聚与城市群产业发展. *中南财经政法大学学报*, 2013, (4): 36-42. [Wu Fuxiang, Shen Haoping. New urbanization, innovative elements spatial agglomeration and urban group industry development. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2013, (4): 36-42.]
- [24] 王永锋, 高建华, 张智先. 中原城市群城市化水平与创新能力协调发展研究. *城市问题*, 2007, (4): 11-16. [Wang Yongfeng, Gao Jianhua, Zhang Zhixian. Study on the coordinated development of urbanization level and innovation ability of central plains urban agglomeration. *City Problems*, 2007, (4): 11-16.]
- [25] 侯纯光, 程钰, 任建兰, 等. 中国创新能力时空格局演变及其影响因素. *地理科学进展*, 2016, 35(10): 1206-1217. [Hou Chunguang, Cheng Yu, Ren Jianlan, et al. The temporal and spatial evolution of China's innovation capability and its influencing factors. *Progress in Geography*, 2016, 35(10): 1206-1217.]
- [26] 袁博, 刘凤朝. 技术创新、FDI与城镇化的动态作用机制研究. *经济学家*, 2014, (10): 60-66. [Yuan Bo, Liu Fengchao. Study on the dynamic mechanism of technological innovation, FDI and urbanization. *Economist*, 2014, (10): 60-66.]
- [27] 汪丽, 李九全. 新型城镇化背景下的西北省会城市化质量评价及其动力机制. *经济地理*, 2014, 34(12): 55-61. [Wang Li, Li Jiuan. Evaluation of the urbanization quality of the northwest province in the background of new urbanization and its dynamic mechanism. *Economic Geography*, 2014, 34(12): 55-61.]
- [28] 凌筱舒, 王立, 薛德升. 江西省县域城镇化水平测度及其分异研究. *人文地理*, 2014, 29(3): 89-94. [Ling Xiaoshu, Wang Li, Xue Desheng. Study on the measurement of urbanization level and its differentiation in Jiangxi province. *Human Geography*, 2014, 29(3): 89-94.]
- [29] 蔺雪芹, 王岱, 任旺兵, 等. 中国城镇化对经济发展的作用机制. *地理研究*, 2013, 32(4): 691-700. [Lin Xueqin, Wang Dai, Ren Wangbing, et al. The mechanism of China's urbanization on economic development. *Geographical Research*, 2013, 32(4): 691-700.]
- [30] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 105-112. [Liu Yaobin, Li Rendong, Song Xuefeng. Analysis of the coupling degree between urbanization and ecological environment in China. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(1): 105-112.]
- [31] 吴玉鸣, 柏玲. 广西城市化与环境系统的耦合协调测度与互动分析. *地理科学*, 2011, 31(12): 1474-1479. [Wu Yuming, Bai Ling. Coupling coordinated measurement and interaction analysis of urbanization and environmental system in Guangxi. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(12): 1474-1479.]
- [32] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. *地理研究*, 2003, 22(2): 211-220. [Huang Jinchuan, Fang Chonglin. Urbanization and ecological environment of coupling mechanism and rules analysis. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211-220.]
- [33] 蒋天颖, 华明浩, 许强, 等. 区域创新与城市化耦合发展机制及其空间分异: 以浙江省为例. *经济地理*, 2014, 34(6): 25-32. [Jiang Tianying, Hua Minghao, Xu Qiang, et al. The coupling development mechanism of regional innovation and urbanization and its spatial differentiation: A case study of Zhejiang province. *Economic Geography*, 2014, 34(6): 25-32.]
- [34] Li Y F, Li Y, Zhou Y, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98(1): 127-133.
- [35] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [36] 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. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geographical detectors: Principles and prospects. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [37] 刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理. *地理学报*, 2012, 67(8): 1011-1020. [Liu Yansui, Yang Ren. The spatial characteristics and formation mechanism of urbanization in China's counties. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011-1020.]

Coupling process and mechanism of urbanization and innovation in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration

MA Haitao¹, LU Shuo^{1,2}, ZHANG Wenzhong¹

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract: Urban agglomeration is not only the main form of new urbanization, but also the incubator of innovation. Theoretically, there is a complex interaction between urbanization subsystem and innovation subsystem in urban agglomeration. The Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration is a national-level urban agglomeration designated by the national new urbanization planning, and it takes "the new engine of national innovation-driven economic growth" as its core function positioning. Therefore, exploring the coupling relationship between urbanization process and innovation and development of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration is beneficial to understand the relationship between urbanization and innovation and the development of this urban agglomeration. The comprehensive evaluation index system of urbanization and innovation is constructed by combing the internal theoretical relationship between two subsystems of urbanization and innovation. With the help of coupling coordination degree model and geo-detector factor detection method, this paper analyzes the evolution process and mechanism of coupling coordination relationship between urbanization and innovation in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. The findings: (1) The comprehensive level of urbanization and innovation in the study area presents a trend of steady growth, and the coupling and coordination relationship between urbanization and innovation also develops in a good direction on the whole, but the comprehensive level and coupling relationship are different in space. Specifically, the gap between the high level of Beijing and Tianjin and the overall low level of 11 cities in Hebei is obvious. (2) The Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration has been characterized by the coupling coordination type of innovation lag since 2007. Moreover, most of the cities in recent years show the type of coupling coordination of innovation lag, which can be clearly concluded that the main reason for the coupling coordination level of this urban agglomeration in the past period of time is that the innovation level is relatively inadequate to support the urbanization. (3) The interaction between urbanization and innovation in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration is very significant, especially the impact of economic urbanization and social urbanization on innovation, and the impact of innovation resources on urbanization is more prominent. It is also found that the role of innovation ability in promoting urbanization is relatively inadequate during the study period. In the future, the key direction of promoting the coordination level of urbanization and innovation coupling in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration is to accelerate the improvement of urban agglomeration and the comprehensive level of innovation in each city.

Keywords: urban agglomeration; urbanization; innovation; Beijing-Tianjin-Hebei; coupling; geographical detector