

全球顶尖科学家成长的空间路径选择与区域角色

侯纯光^{1,2}, 杜德斌³, 刘承良³

(1. 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079; 2. 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079; 3. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062)

摘要: 顶尖科学人才的成长和培养是当前政府和学界关注的热点。本文基于诺贝尔物理学、化学、生理学/医学和经济学四大科学奖获得者的教育和工作履历数据, 从人才成长的全阶段, 解构1901—2022年间全球顶尖科学家成长的空间路径、区域角色与路径选择因素。主要结论为: ① 全球顶尖科学家成长的空间路径具有明显的机构群落效应, 取得科研突破高度依赖少数科研机构; ② 教育阶段, 全球顶尖科学家成长的教育中心具有显著的更迭演替现象, 呈现来源的相对广泛性和流入的高度集聚性特征, 美国、德国和英国占全球顶尖科学家求学流量的78.3%; ③ 工作阶段, 全球顶尖科学家工作的科学中心存在明显的地理转移现象, 流向进一步收窄极化, 被少数国家收割, 美国成为最大“磁石国家”, 占工作阶段顶尖科学家全球流量的53.7%; ④ 全球顶尖科学家成长过程中的区域职能角色分化为出生型、教育型、促成型、出生兼教育型、教育兼促成型、全能型等6种, 第二次世界大战后仅美国顺势发展为全能型; ⑤ 全球顶尖科学家流动的影响机制有其一般性和特殊性, 语言被广泛证实在一般人口跨国流动中起到重要作用, 但对顶尖科学家迁移流动的影响并不显著, 文化联系中的社会制度邻近性、政治环境以及高等教育是顶尖科学家流动迁移考虑的重要因素, 而目的地的科学发展水平在动荡时期对顶尖科学家流动的影响并不显著。

关键词: 顶尖科学家; 人才成长; 空间路径; 区域角色; 路径选择因素

DOI: 10.11821/dlxb202412014

1 引言

顶尖科学人才是国家能够在纷繁复杂的国际竞争中, 准确预测科学发展趋势, 在重大科学领域尽快取得突破性进展的中坚力量^[1]。国家科学的快速发展依赖于顶尖科学人才的培养和集聚^[2]。准确把握顶尖科学人才成长之规律是科学人才制度设计前瞻性和政策制定针对性的重要保障^[3]。如何把握并遵循顶尖科学人才成长的时空规律, 识别不同区域在顶尖科学人才成长过程中的角色变迁, 揭示顶尖科学人才成长空间路径选择的多重影响因素, 成为中国加快建设世界重要人才中心和创新高地亟待解决的重要问题。

收稿日期: 2023-09-26; 修订日期: 2024-04-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(42301191); 教育部人文社会科学研究项目(22YJC790042); 中国科协科技智库青年人才计划(20230504ZZ07240004); 上海市软科学研究项目(23692116800); 中国博士后科学基金项目(2022M711153) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42301191; MOE Project of Humanities and Social Sciences, No.22YJC790042; Young Talents Plan of Science and Technology Think Tank of China Association for Science and Technology, No.20230504ZZ07240004; Soft Science Project of Shanghai, No.23692116800; China Postdoctoral Science Foundation, No.2022M711153]

作者简介: 侯纯光(1990-), 男, 安徽利辛人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110017219M), 研究方向为科技地理、城市与区域创新发展。E-mail: 1570846532@qq.com

通讯作者: 杜德斌(1963-), 男, 湖北宜昌人, 教授, 博士生导师, 研究方向为世界地理、城市与区域创新发展。E-mail: dbdu@re.ecnu.edu.cn

从出生到求学再到就业,人才成长的空间路径是人才成长过程中的种种经历组成的空间轨迹^[4-5]。虽然每个顶尖科学家成长的空间路径不尽相同,但整体上可呈现一定的群体性特征^[6-7]。在人才全球竞争的背景下,顶尖科学人才的成长和培养成为政府和学界关注的热点,但以往研究着重关注科学人才成长过程中的教育和管理问题^[8-10],科学人才成长过程中突显的空间规律及空间过程被忽略。国家、城市和机构作为科学人才成长的空间载体,在科学人才成长过程中,不同尺度的空间载体衍生出不同的角色职能(出生、教育、工作)。地理学关注的人才流动更多地集中在职业阶段的空间流动^[11-13],以顶尖科学人才成长的空间路径为媒介构建的人才链和人才成长空间路径网络,为研究不同区域在全球顶尖科学人才成长过程中发挥的职能作用提供了可能,能够很好地补充当前人文经济地理有关科学人才流动的相关研究。

在人才全球竞争日趋激烈的背景下,科学人才的成长与流动成为当前学界关注的热点^[14-15]。学界有关科学人才成长流动的研究主要集中在流动、机制和管理3个维度:①科学人才成长的流动维度^[16-20]。有关科学人才成长流动的研究主要聚焦在学术流动性、知识流动性和权利不平等等议题^[16-17]。Fahey等在对学术流动性(科学人才)特刊的介绍中指出,早期的范式与科学人才流失、增益或流动的争论相关,不足以捕捉流动的社会和文化动态,建议在认识论(科学知识流动之间的联系)、本体论(流动对科学人才个体生活的影响)和伦理(科学人才流动政策背后的假设)层面上考察科学人才流动的复杂性^[18]。Bilecen等强调当前科学人才流动研究需要重点关注国际学术流动的动态以及国家内部和跨国之间的不平等性^[19]。科学人才的流动决策、流动经验、流动轨迹和流动结果的差异性反映了当今科学人才流动的多重性、碎片性和复杂性^[20]。②科学人才成长路径选择的机制维度^[20-21]。人力资本理论将科学人才成长路径看作是科学人力资本不断交易的过程,也是科学人力资本的再生产过程,其首要动力源于科学人才对人力资本边际效益最大化的追求(跨国求学和求职)^[22]。需求层次理论认为人的需求由生理需求到价值需求不同层次构成,在满足物质需求的基础上,科学人才对自我价值的追求是科学人才成长路径选择的客观要求^[23]。二元劳动力市场^[24]、世界体系^[25]、新经济地理^[26]等相关批判与结构主义理论主要从中观和宏观的视角出发,更加注重经济、文化、社会和政治结构以及各种正式与非正式制度对科学人才成长路径选择的影响,科学家的私人社会关系、学缘、业缘等个人情感因素在一定程度上影响着科学家流动迁移的选择,这些批判结构性理论突破了理性经济人的流动假设。③科学人才成长的管理维度^[27-28]。管理的作用和目的是破解阻碍科学人才培养和集聚的种种桎梏,科学人才成长的管理维度主要聚焦于教育管理和制度政策两个层面,科学人才成长的教育管理主要关注科学人才成长过程中的教育课程设置、教育方法、培养模式以及科学人才培养的绩效评估等几个方面^[27, 29-30]。科学人才成长的制度政策主要关注政府在吸引、集聚和引导科学人才合理流动方面实施的包括引才政策、平台搭建、制度构建等政策举措^[31-32]。

总结回顾已有研究,一方面,科学人才成长过程中凸显的空间规律及空间过程被无意地抽象或者回避,地理学关注的科学人才流动更多地集中在职业阶段的空间流动,对科学人才成长阶段的空间路径规律刻画不足,难以揭示各国和地区在科学人才成长过程中的位置变迁和角色演化,有待从科学人才成长的全阶段,拓宽研究的时空跨度,对全球视域下科学人才成长轨迹的历史性和地理性规律进行挖掘,探究各国和地区在科学人才成长过程中的位置变迁和角色演化。另一方面,相较于一般人口跨国流动影响机制,科学人才的跨国流动的影响机制具有其特殊性,一般人口流动决策中,基本的经济、物质和生活需求是其首要追求,但是科学人才流动特别是顶尖科学人才流动的内在动力可

能着重追求施展才能和自我价值的实现,科研平台和科研环境可能是其主要考量的因素。因此,需要从人口流动类别视角,对顶尖科学家这一特殊群体成长流动的影响机制进行挖掘,丰富人口跨国流动的影响机制研究。综上,本文聚焦于全球视野,借助数据挖掘技术,以诺贝尔四大科学奖(物理学、化学、生理学/医学、经济学)获得者从出生到教育再到工作取得科研突破(获奖)之间的成长历程为时间周期,探索1901年之后的100多年来,全球顶尖科学家成长的空间路径、区域角色与路径选择因素,为中国着力培养拔尖创新人才,聚天下英才而用之提供学理支撑。

2 研究方法 with 数据处理

2.1 履历分析下的科学人才成长路径解析过程

科学人才成长路径研究的一个主要难点在于搜集能够表征科学人才成长空间路径的流数据,显然传统的统计数据无法追踪科学人才成长的空间过程。顶尖科学家的履历、传记和人生点滴详细记录了其成长的时空历程,信息量极为丰富。通过科学人才的履历、传记和人生点滴数据追踪科学人才成长的空间轨迹,并探寻科学人才成长轨迹的时空规律是近年来科学人才流动研究的新趋势^[6, 17, 21]。本文顶尖科学家成长的空间轨迹数据采集

主要分为3个过程:①借助数据挖掘技术,从诺贝尔奖官网、维基百科、Web of Science数据库提取诺贝尔四大科学奖获得者的教育和工作履历数据;②根据顶尖科学家的教育履历和工作履历所对应的地址信息,通过编写程序利用Google map API为机构所在城市进行经纬度赋值,将顶尖科学家成长的空间路径信息匹配到城市和国家尺度,构建完整的横纵向研究数据;③通过数据清洗、数据编码、成长路径网络关系矩阵建构,分别以城市和国家为节点,构建顶尖科学家成长路径的时空动态数据库(图1)。

2.2 全球视域下的顶尖科学家成长路径网络建构

顶尖科学家的成长路径在空间上的映射是以城市和国家等空间单元为载体的“人才链”网络,构建顶尖科学家成长路径网络的关键在于顶尖科学家成长的空间信息挖掘和网络关系矩阵建构。本文以顶尖科学家成长过程中涉及的城市和国家为网络节点,以顶尖科学家在成长过程中的流动关系为网络连线^[33],建构全球视域下顶尖科学家成长的路径网络(图2)。

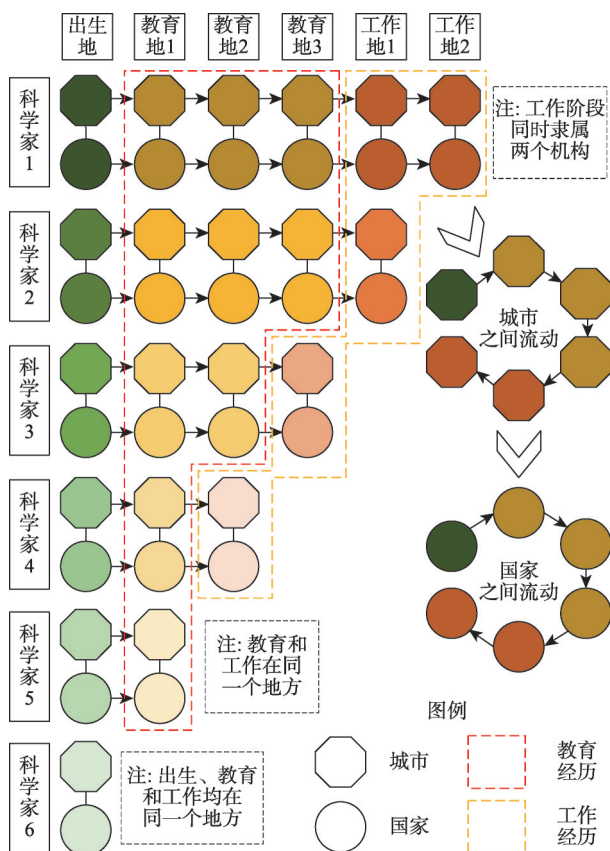


图1 顶尖科学家成长路径的解析过程

Fig. 1 Analysis process of the growth path of leading scientists

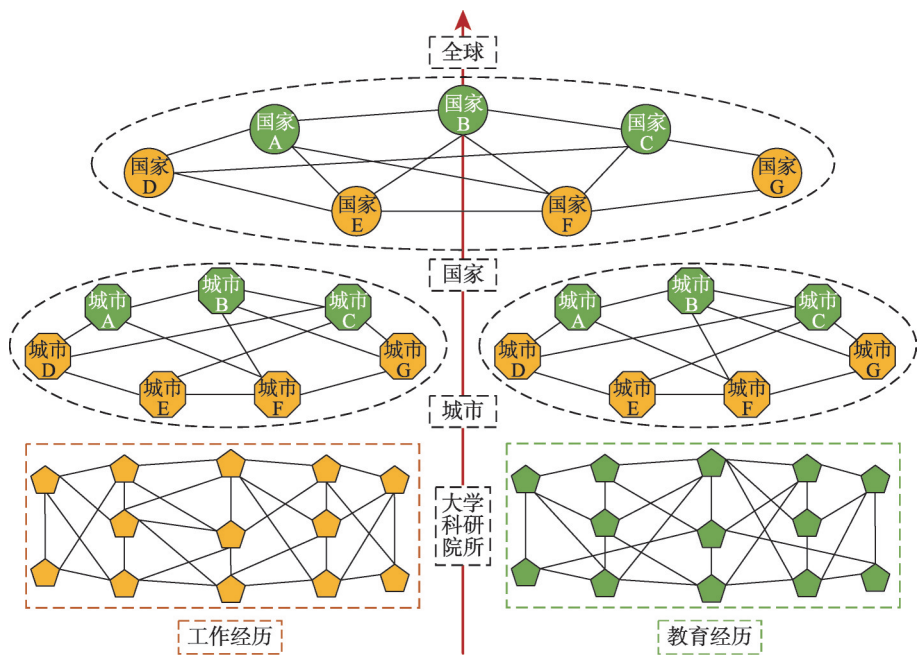


图2 全球视域下顶尖科学家成长路径网络的多尺度建构

Fig. 2 The multiscale construction of leading scientists growing path network under the global vision

2.3 修正区位熵模型下的区域角色识别

区位熵在人文经济地理研究中，常被用于衡量某一产业的专业化程度或某一空间单元在上一级区域中的优势地位^[34-35]。本文借鉴区位熵的原理，将顶尖科学家成长过程中的出生、教育和工作3个重要阶段视作国家或城市在科学人才培养链中的3类产业，利用区位熵的原理测度国家或城市在顶尖科学家成长过程中发挥的主要作用。传统区位熵模型为：

$$Q_g^i = \frac{S_g^i}{S^i} \bigg/ \frac{\sum_{i=1}^n S_g^i}{\sum_{i=1}^n S^i} \tag{1}$$

式中： Q_g^i 是*i*国或城市在顶尖科学家成长*g*阶段的区位熵； S_g^i 是*i*国或城市拥有的*g*阶段的顶尖科学家数量； S^i 为*i*国或城市在人才成长3个阶段的顶尖科学家总数。

由于顶尖科学家数量在出生、教育和获奖阶段具有一致性，因而需要对传统区位熵模型（分母部分）进行修正。模型修正理论依据有两个：① 由于顶尖科学家在成长的每个阶段，空间分布差异较大，研究认为顶尖科学家在某一阶段分布的国家或城市数量越少，即空间分布越集聚，则该阶段对于一个国家或城市的重要性就越显著。比如，顶尖科学家工作阶段高度集聚在少数国家和城市，使得这些国家和城市有能力引导和支配全球科学和技术的变革；② 一个国家或城市在科学人才成长的某一阶段拥有的顶尖科学人才数量占比越大，即时序阶段越集中，则这个阶段对该国或城市的重要性越大。出于以上两个方面的考量，对区位熵模型修正如下：

$$M_Q_g^i = \frac{S_g^i/S^i}{\sum_{i=1}^n S_{i=1}^n / \sum_{i=1}^n S^i} \times \frac{1}{N_g} \times \frac{S_g^i}{\sum_{i=1}^n S_g^i} \tag{2}$$

式中： $M_Q_g^i$ 是*i*国或城市在顶尖科学家成长*g*阶段的修正区位熵； N_g 是顶尖科学家在*g*阶段分布的国家或城市数量。通过修正区位熵模型计算，研究得到一个关于*M_Q_gⁱ*的矩阵：

$$M_Q_g^i = \begin{bmatrix} M_Q_{Bir}^1 & M_Q_{Edu}^1 & M_Q_{Awa}^1 \\ M_Q_{Bir}^2 & M_Q_{Edu}^2 & M_Q_{Awa}^2 \\ M_Q_{Bir}^3 & M_Q_{Edu}^3 & M_Q_{Awa}^3 \\ \dots, & \dots, & \dots \\ \dots, & \dots, & \dots \\ M_Q_{Bir}^n & M_Q_{Edu}^n & M_Q_{Awa}^n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中： $M_Q_{Bir}^1$ 、 $M_Q_{Edu}^1$ 、 $M_Q_{Awa}^1$ 分别是国家1或城市1在出生阶段、教育阶段和工作阶段的修正区位熵值，研究通过比较每一行和每一列的修正区位熵最大值，对每个国家或城市在顶尖科学家成长过程中的职能角色进行精准识别：① 通过比较每一行修正区位熵最大值赋予每个国家或城市一个初始职能角色，如出生阶段修正区位熵值最大，则为出生型，教育阶段修正区位熵值最大，则为教育型，工作阶段修正区位熵值最大，则为促成型；② 通过比较每一列修正区位熵最大值赋予每个国家或城市若干附加职能角色，如果某个国家或城市的修正区位熵值在某一列中最大，则在①初始职能角色的基础上附加上该列对应的职能角色，如出生兼教育型、教育兼促成型、出生兼促成型等，当然该职能角色不能与①初始职能角色重复，如果某个国家或城市在每一列的修正区位熵值都为该列最大值，则将这个国家或城市称为全能型。

2.4 负二项模型下的成长路径选择因素识别

(1) 选取变量。“推拉理论”从人口流入地和流出地的比较优势因素出发，认为流入地的那些有利的社会经济条件是人口流动过程中的“拉力”，而流出地的那些对生活造成不利的因素是人口流动过程中的“推力”，人口流动是由这两股力量共同作用的结果^[11, 21]。另一方面，人口流动是空间相互连接和相互作用的核心介质之一，地理学空间相互作用理论认为空间相互作用的产生需要满足的一个重要条件就是区域之间的可达性，即人员、资本、信息等流动过程中可能受到的阻力^[8]。基于“推拉理论”和空间相互作用理论，本文主要从“推力”“拉力”和“阻力”3个层面选取自变量，构建包括政治环境、高等教育、科学发展、文化联系、生存环境、地理距离、工资收入、经济发展等8个要素层17个自变量指标，其中政治环境用一国内部武装冲突和国际武装冲突事件衡量，文化联系用语言文化联系和历史殖民联系衡量，高等教育用顶尖高校数量衡量，科学发展用顶尖科学成果数量衡量，工资收入用劳动者实际工资收入衡量，生存环境用平均寿命衡量，地理距离用来源地与目的地首都间的地理距离衡量，经济发展用人均GDP (PPP) 衡量 (表1)。

由于研究的时序跨度有百余年，涉及大量历史时期数据，核心解释变量中的国家内部武装冲突、国际武装冲突、劳动者实际工资收入、平均寿命、人均GDP (PPP) 等数据主要来源于荷兰皇家艺术与科学学院 (the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, KNAW) 国际社会历史研究所 (International Institute of Social History, IISH) 的Clio Infra项目^①。语言文化联系、历史殖民联系、地理距离数据来源于法国CEPII数据库^②，顶尖高校数量和顶尖科学成果数量是作者根据不同时期顶尖高校数量与本土诺贝尔奖成果数量统计所得。

(2) 模型构建。在人才流动的相关研究中，由于人的数量只会是非负整数，并具有离散特性，为克服此类约束，负二项回归模型被广泛应用在人才流动的影响因素分析当中^[8]。本文运用负二项回归模型识别顶尖科学家成长路径选择的影响因素，其公式如下：

① Clio Infra 项目数据库包含了过去5个世纪以来全球的社会、经济和体制指标数据，是经济合作与发展组织 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 报告的主要数据来源之一。

② CEPII由时任法国总理雷蒙德·巴雷 (Raymond Barre) 于1978年成立的前瞻性研究和国际信息中心。

表 1 顶尖科学家成长路径选择影响因素指标

Tab. 1 Indicators of factors influencing the growth path of leading scientists

因素		指标	模型缩写	数据来源
政治环境	x_1	来源国内部武装冲突	$Inter-conflict_i$	Clio Infra
	x_2	目的地国内武装冲突	$Inter-conflict_j$	Clio Infra
	x_3	来源国国际武装冲突	$Nati-conflict_i$	Clio Infra
	x_4	目的地国际武装冲突	$Nati-conflict_j$	Clio Infra
高等教育	x_5	来源地顶尖高校数量	$Universities_i$	/
	x_6	目的地顶尖高校数量	$Universities_j$	/
科学发展	x_7	来源地顶尖科学成果数量	$Sci-achievements_i$	/
	x_8	目的地顶尖科学成果数量	$Sci-achievements_j$	/
生存环境	x_9	来源地人口平均寿命	$Life-expectancy_i$	Clio Infra
	x_{10}	目的地人口平均寿命	$Life-expectancy_j$	Clio Infra
文化联系	x_{11}	来源地与目的地的语言文化关系	$Language_{ij}$	CEPII
	x_{12}	来源地与目的地的历史殖民联系	$Colonization_{ij}$	CEPII
地理距离	x_{13}	来源地与目的地的地理距离	$Geo-distance_{ij}$	CEPII
工资收入	x_{14}	来源地劳动者实际工资收入	$Real-wages_i$	Clio Infra
	x_{15}	目的地劳动者实际工资收入	$Real-wages_j$	Clio Infra
经济发展	x_{16}	来源地人均 GDP	$Per-GDP_i$	Clio Infra
	x_{17}	目的地人均 GDP(PPP)	$Per-GDP_j$	Clio Infra

$$ISM_{ij} = \alpha + \beta_1 Inter-conflict_i + \beta_2 Nati-conflict_i + \beta_3 Inter-conflict_j + \beta_4 Nati-conflict_j + \beta_5 Universities_i + \beta_6 Universities_j + \beta_7 Sci-achievements_i + \beta_8 Sci-achievements_j + \beta_9 Life-expectancy_i + \beta_{10} Life-expectancy_j + \beta_{11} Language_{ij} + \beta_{12} Colonization_{ij} + \beta_{13} Geovdistance_{ij} + \beta_{14} Real-wages_i + \beta_{15} Real-wages_j + \beta_{16} Per-GDP_i + \beta_{17} Per-GDP_j + \varepsilon_i \tag{4}$$

式中： α 为常数项； ε_i 为随机误差项； $\beta_1\sim\beta_{17}$ 为待估系数； ISM_{ij} 是来源国*i*到目的地国*j*的顶尖科学家数量，是被解释变量；解释变量 $Inter-conflict$ 是来源国*i*与目的地国*j*的内部武装冲突事件数； $Nati-conflict$ 是来源国*i*与目的地国*j*的国际武装冲突事件数； $Universities$ 是来源国*i*与目的地国*j*拥有的顶尖高校数量； $Sci-achievements$ 是来源国*i*与目的地国*j*的顶尖科学成果数量； $Life-expectancy$ 是来源国*i*与目的地国*j*的人口平均寿命； $Language_{ij}$ 是来源国*i*与目的地国*j*的语言文化联系，为虚拟变量，如果两国或地区的官方语言相同则赋值为1，否则为0； $Colonization_{ij}$ 是来源国*i*与目的地国*j*之间历史上的殖民关系，为虚拟变量，如果两国或地区历史上存在殖民关系则赋值为1，否则为0； $Geo-distance_{ij}$ 是来源国*i*与目的地国*j*的地理距离，用两国或地区首都或首府之间的物理距离衡量； $Real-wages$ 是来源国*i*与目的地国*j*的劳动者实际工资收入；控制变量 $Per-GDP$ 是来源国*i*与目的地国*j*的人均GDP。

为观察不同时序阶段，顶尖科学家成长的空间路径特征，本文根据重大历史事件，对顶尖科学家成长路径的时序演化进行了阶段划分，关键历史节点分别是第一次世界大战（简称一战）爆发（1914年）、第二次世界大战（简称二战）爆发（1939年）、“冷战”结束（1991年）。为此将1901—2022年分为一战前（1901—1914年）、一战爆发至二战前（1915—1938年）、二战爆发至“冷战”期间（1939—1991年）、“冷战”结束至今（1992—2022年），共4个阶段。

3 全球顶尖科学家成长的空间路径演化

3.1 空间路径具有明显的机构群落效应,取得科研突破高度依赖少数科研机构

高校、科研院所等科研机构是顶尖科学家工作阶段取得科研突破的重要“助推器”。截至2022年全球共有283个机构获得过诺贝尔四大科学奖,其中有21.9%的机构获得3人次及以上诺贝尔四大科学奖,占获奖总人次的67.4%,11.3%的机构获得5人次及以上诺贝尔四大科学奖,占获奖总人次的53.3%,4.9%的机构获得10人次及以上诺贝尔四大科学奖,占获奖总人次的36.2%,反映出顶尖科学家取得科研突破具有明显的机构群落效应,高度依赖少数科研机构。从这些机构的类别来看,283个获奖机构中,高校占比68.2%,占获奖总人次的74.8%,研究院所占比30.0%,占获奖总人次的22.1%,医院、公司和组织机构占比8.8%,占获奖总人次的4.0%,反映出高校、科研院所是顶尖科学家成长的关键空间载体,是其工作阶段取得科研突破的重要“助推器”(表2)。顶尖科学家在机构层面的高度集聚特征表明,全球顶尖科研人才的成长高度依赖于高水平的科研平台和优质的科研生态环境,而仅有少数科研机构具备培养顶尖科学人才的环境。

表 2 1901—2022 年诺贝尔四大科学奖获得者所属机构及获奖频次
Tab. 2 Organizations and award frequencies of the Nobel laureates in science, 1901-2022

获奖人次等级	占比情况	排名、机构及人次(人)
10 人次及以上	获奖 10 人次及以上机构占获奖机构总数的 4.9%, 占获奖总人次的 36.2%	1. 美国加州大学(49)、2. 美国哈佛大学(36)、3. 德国马克斯·普朗克研究所(27)、4. 美国斯坦福大学(26)、5. 美国麻省理工学院(23)、6. 美国芝加哥大学(21)、7. 美国洛克菲勒大学(19)、8. 英国剑桥大学(19)、9. 美国加州理工学院(17)、10. 美国哥伦比亚大学(17)、11. 美国普林斯顿大学(17)、12. 英国牛津大学(12)、13. 美国霍华德·休斯医学研究所(10)、14. 英国分子生物学实验室(10)
5 人次及以上	获奖 5 人次及以上机构占获奖机构总数的 11.3%, 占获奖总人次的 53.3%	15. 美国耶鲁大学(9)、16. 美国德克萨斯大学(9)、17. 美国贝尔实验室(8)、18. 美国康奈尔大学(8)、19. 德国柏林大学(7)、20. 美国约翰霍普金斯大学(7)、21. 英国伦敦大学(7)、22. 英国伦敦大学学院(7)、23. 德国海德堡大学(7)、24. 法国巴斯德研究所(6)、25. 俄罗斯列别捷夫物理研究所(6)、26. 法国索邦大学(6)、27. 德国哥廷根大学(5)、28. 瑞典卡罗林斯卡学院(5)、29. 美国国立卫生研究院(5)、30. 美国科罗拉多大学(5)、31. 瑞典乌普萨拉大学(5)、32. 美国华盛顿大学—圣路易斯(5)
3 人次及以上	获奖 3 人次及以上机构占获奖机构总数的 21.9%, 占获奖总人次的 67.4%	33. 瑞士欧洲核子研究所(4)、34. 瑞典斯德哥尔摩大学(4)、35. 法国法兰西学院(4)、36. 美国宾夕法尼亚大学(4)、37. 瑞士苏黎世联邦理工学院(4)、38. 瑞士 IBM 苏黎世研究实验室(4)、39. 英国帝国理工学院(4)、40. 日本京都大学(4)、41. 德国慕尼黑大学(4)、42. 以色列理工学院(4)、43. 美国伊利诺伊大学(4)、44. 美国纽约大学(4)、45. 美国华盛顿大学—西雅图(4)、46. 瑞士苏黎世大学(4)、47. 俄罗斯科学院(4)、48. 丹麦哥本哈根大学(3)、49. 美国弗雷德·哈钦森癌症研究中心(3)、50. 英国帝国癌症研究基金实验室(3)、51. 德国基尔大学(3)、52. 荷兰莱顿大学(3)、53. 日本名古屋大学(3)、54. 美国国家标准与技术研究所(3)、55. 美国斯克里普斯研究所(3)、56. 日本东京大学(3)、57. 加拿大多伦多大学(3)、58. 美国威斯康星大学(3)、59. 英国维多利亚大学(3)、60. 法国巴黎高等师范学院(3)、61. 挪威奥斯陆大学(3)、62. 美国西北大学(3)

注:按照工作获奖阶段机构隶属关系统计。

3.2 教育中心具有显著的更迭演替现象,呈现来源的相对广泛性和流入的高度集聚性特征

教育阶段,顶尖科学家成长的空间流动路径对其学术思想的形成起着至关重要的作用。优质高等教育资源的空间分布决定着全球顶尖科学家教育阶段成长路径的空间选择,由于优质高等教育资源和科学硬件设施的初始集聚性,那些具有世界一流大学和科研机构的国家 and 城市成为顶尖科学家成长路径中的教育中心。反之,出生国和城市受困于有限的高等教育资源和科研条件,损失了宝贵的顶尖科学人力资源。因此,顶尖科学家在国家和城市间的路径选择成为驱动全球科学格局演变的重要核心力量。

对顶尖科学家教育阶段在城市间的路径选择考察发现，从欧洲城市到北美城市，顶尖科学家成长的教育中心具有显著的更迭演替现象。1901—1914年顶尖科学家求学流动路径主要集中在欧洲城市间，巴黎、柏林、剑桥与莱顿是这一时期全球主要科学教育中心；1915—1938年纽约和波士顿开始在顶尖科学家求学路径网络中显露，但是顶尖科学家求学路径主要还是集中在欧洲城市间；1939—1991年顶尖科学家求学路径网络产生大规模的更迭演替现象，北美城市开始迅速增多，剑桥、波士顿和纽约成为这一时期全球三大科学教育中心；1992—2022年波士顿、旧金山、纽约等城市在全球顶尖科学家求学路径网络中的地位继续得到巩固，欧洲城市大规模地减少和衰落，东京、名古屋和大阪等少数亚洲城市开始在网络中显现（图3）。

对顶尖科学家教育阶段在国家间的路径选择考察发现，顶尖科学家在教育阶段的成长路径呈现来源地的相对广泛性和流入地的高度集聚性特征，美国、德国、英国和法国是全球顶尖科学家教育阶段的主要求学目的地国（图4）。其中，美国、德国和英国教育

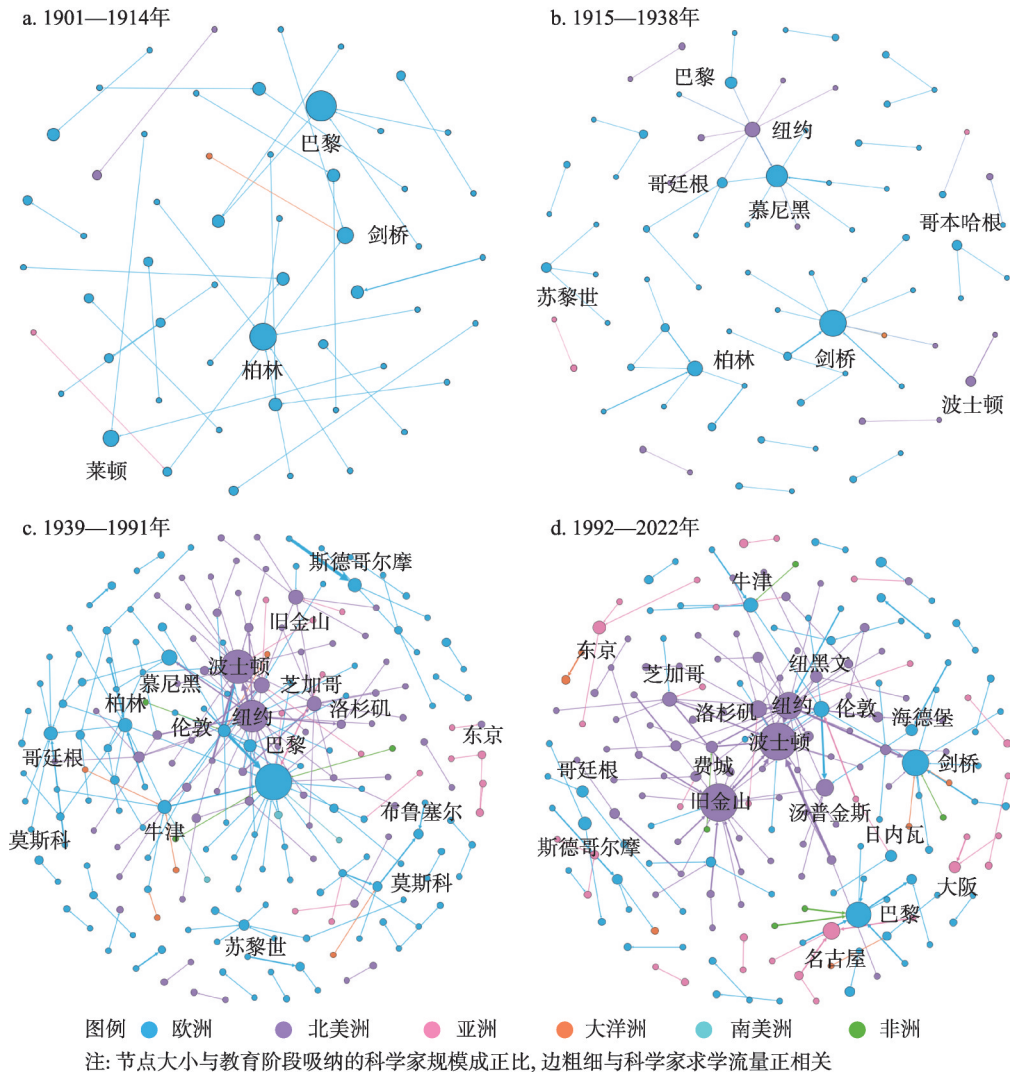
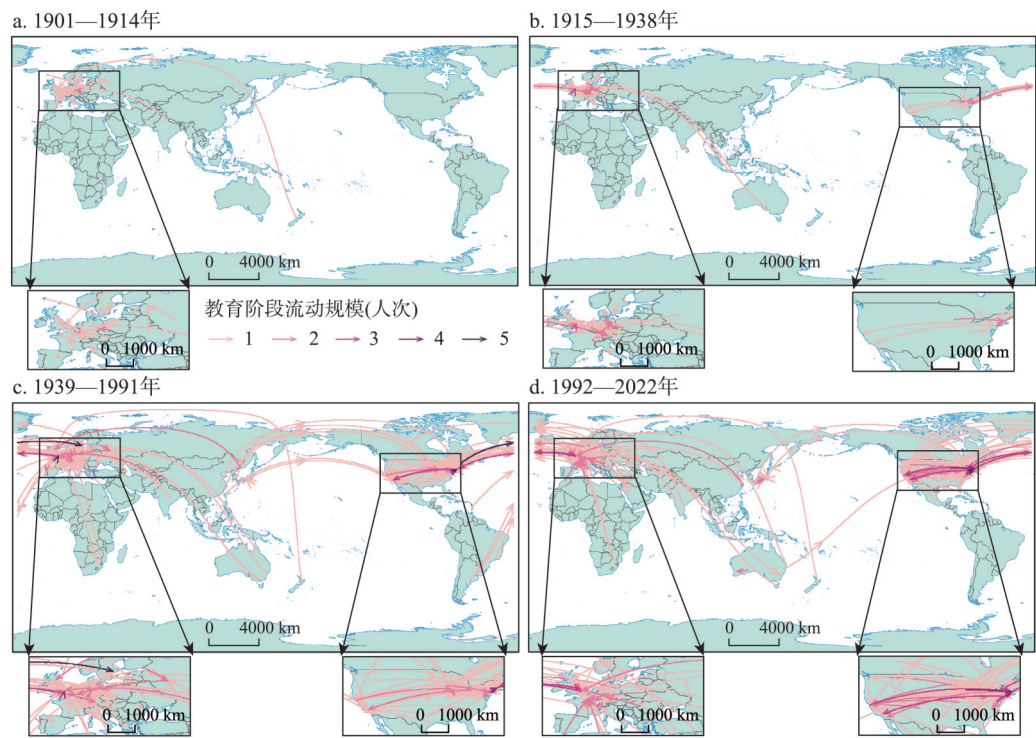


图3 1901—2022年诺贝尔四大科学奖获得者教育阶段城市间成长路径网络结构演化

Fig. 3 Structural evolution of the growth path network of the Nobel laureates in science in the education stage, 1901-2022



注：基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1666号的标准地图制作,底图边界无修改。

图4 1901—2022年诺贝尔四大科学奖获得者教育阶段流动的空间路径演化

Fig. 4 Evolution of the geographical path of the Nobel laureates in science from the place of birth to the place of education, 1901-2022

阶段吸纳的外籍顶尖科学人才最多，美国占顶尖科学人才求学流量的33.3%，英国占23.3%，德国占21.7%，三国总占比达78.3%。主要求学流动路径集中于发达国家之间，比如波兰至德国、加拿大至美国、美国至英国、德国至美国等。全球前10大求学流动路径中，有5条路径指向了美国，3条路径指向了德国，2条路径指向了英国，全球前10大求学流动路径的流量占全球顶尖科学家求学总流量的37.0%。从1901—2022年全球顶尖科学家求学的空间路径在国家尺度的演化来看，全球顶尖科学家求学的空间路径从以西欧为单中心的空间结构演变成以西欧—北美为双中心的空间结构，二战后美国迅速成为全球顶尖科学家求学阶段的主要目的地国，成为全球重要的教育中心。1901—1914年全球顶尖科学家的教育地高度集中在欧洲，因此这一阶段顶尖科学家求学的空间路径主要存在于欧洲内部，主要求学路径存在于波兰到德国、俄罗斯到德国、德国到法国之间。1915—1938年跨大西洋求学路径开始出现，但从求学流向来看，主要是来自美国的科学人才前往德国和法国留学。1939—1991年是全球顶尖科学家求学路径变化最为显著的阶段，顶尖科学家求学路径开始从以西欧为单中心的空间结构演变成以西欧—北美为双中心的空间结构，北美到欧洲的求学流出现逆转，德国和波兰等国前往美国留学的人才迅速增多。1992—2022年从英国、德国、奥地利等前往美国求学的科学人才持续增加，全球顶尖科学家教育阶段的主要求学路径介于北大西洋和美国东西海岸之间。

3.3 工作的科学中心存在明显的地理转移现象,流向进一步收窄极化被少数国家收割

工作阶段，顶尖科学家流动的空间路径对其科学研究能力的提升和取得科研突破起着至关重要的作用。对顶尖科学家工作阶段在城市间的路径选择考察发现，顶尖科学家

工作阶段的流动路径呈现从欧洲城市向北美城市转移的地理现象，顶尖科学家流动的空间路径不断收窄极化，只有少数城市扮演着科学中心的角色，其他多数城市承担着教育地的角色，其培养的人才被少数科学中心进一步收割（图5）。1901—1914年顶尖科学家工作流动路径较少，主要集中在欧洲城市间，巴黎、柏林、伦敦与斯德哥尔摩是这一时期顶尖科学家工作的科学中心；1915—1938年纽约和洛杉矶开始在顶尖科学家工作流动路径网络中显露，但是顶尖科学家工作流动路径主要还是集中在欧洲城市间；1939—1991年全球顶尖科学家工作的科学中心发生明显的地理转移现象，北美城市开始迅速崛起，波士顿、纽约和旧金山成为这一时期全球顶尖科学家工作的三大中心城市；1992—2022年旧金山、纽约、洛杉矶、波士顿等城市在顶尖科学家工作流动路径网络中的地位继续得到巩固，欧洲城市大规模地减少和衰落，东京、名古屋和京都等少数亚洲城市开始在网络中显现。

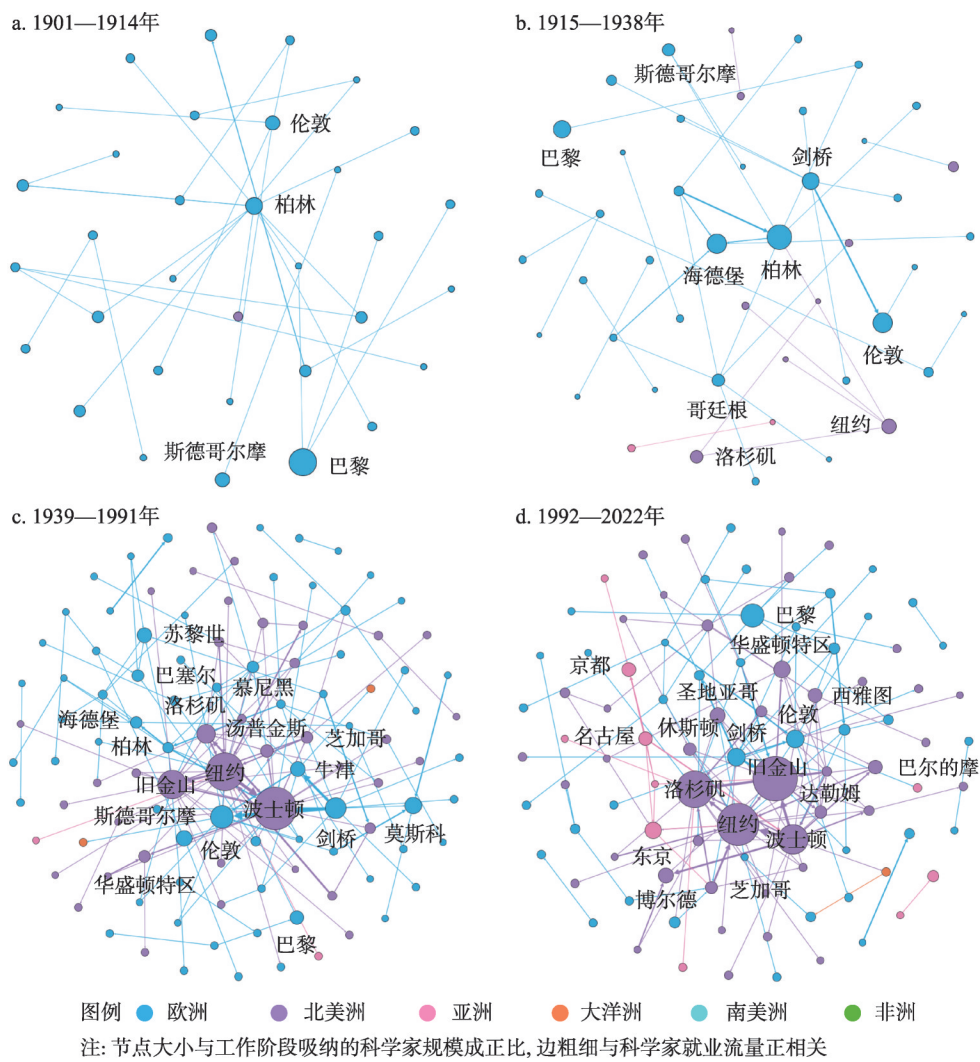
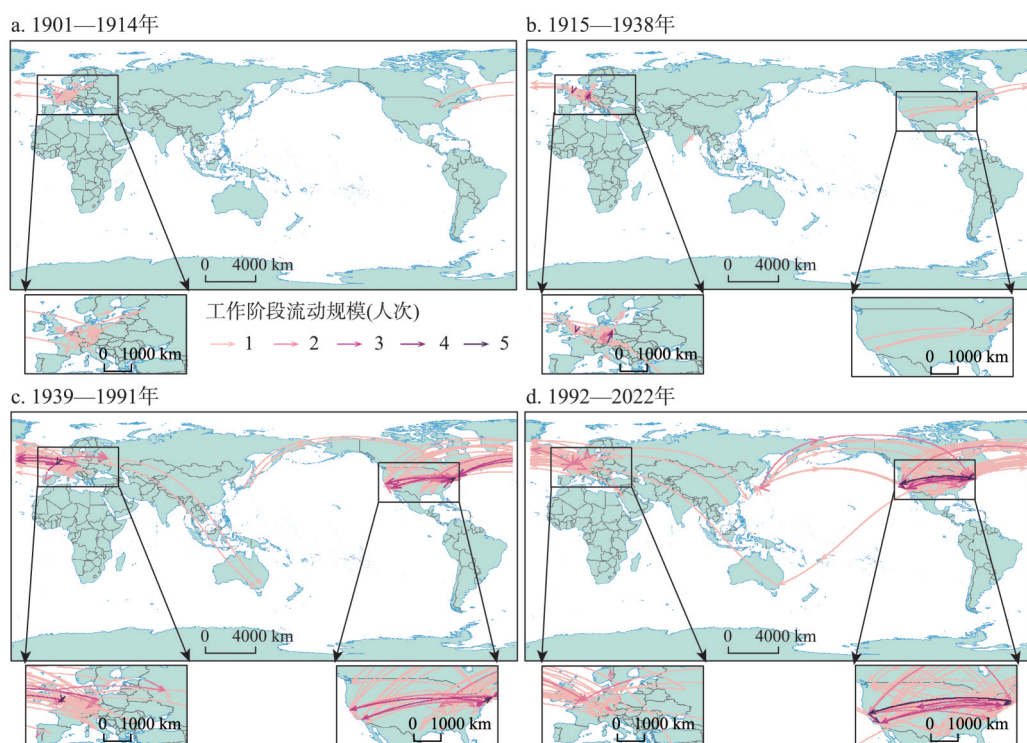


图5 1901—2022年诺贝尔四大科学奖获得者工作阶段城市间成长路径网络结构演化

Fig. 5 Structural evolution of the growth path network of the Nobel laureates in science in the work stage, 1901-2022

对顶尖科学家工作阶段在国家间的路径选择考察发现,相较于教育阶段的成长路径,全球顶尖科学家在工作阶段流向进一步收窄极化,被美国和英国等极少数国家收割(图6)。美国是全球最大的顶尖科学人才“磁石国家”,其吸引集聚的顶尖科学家规模远超其他国家,占顶尖科学家工作阶段全球总流量的53.7%,其次是英国(11.7%)、瑞士(7.4%)和德国(6.8%)。工作阶段全球顶尖科学家的流动路径主要集中在发达国家之间,全球前4大流动路径的目的地均指向美国,来源国分别是德国、英国、日本和加拿大。其中,来自德国的顶尖科学家数量占美国集聚总量的27.6%,来自英国的顶尖科学家数量占美国集聚总量的25.3%,两国共同占美国集聚总量的52.9%,全球前10大工作阶段流动路径中,有6条路径指向美国,剩余的4条路径分别指向英国、瑞士、加拿大和德国,前10大流动路径占顶尖科学家工作阶段总流量的54.9%,远高于教育阶段的37.0%,反映出工作阶段,全球顶尖科学家流向进一步收窄极化。从1901—2022年全球顶尖科学家工作的空间路径在国家尺度的演化来看,全球顶尖科学家工作的空间路径呈现由欧洲内部流动转向跨大西洋流动的变化过程,二战后美国迅速吸引集聚了大量顶尖科学人才,美国的东海岸迅速成为全球顶尖科学家工作阶段的集聚中心。1901—1914年仅有少量顶尖科学家毕业后从欧洲前往美国工作,绝大多数工作流动路径集聚在欧洲内部,法国巴黎和德国柏林是这一时期全球顶尖科学家工作的科学中心。1915—1938年大量德国科学人才流向了英国。与此同时,从欧洲流向美国的科学人才开始增多,并以美国东海岸为跳板,转而前往美国西海岸的洛杉矶和旧金山工作。1939—1991年受到战争影响,全球顶尖科学家的工作路径开始由欧洲内部流动转向跨大西洋流动,美国纽约、波士顿、旧



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2016)1666号的标准地图制作,底图边界无修改。

图6 1901—2022年诺贝尔四大科学奖获得者工作阶段流动的空间路径演化

Fig. 6 Evolution of the geographical path of the Nobel laureates in science from the place of education to the place of work, 1901-2022

金山和洛杉矶取代德国柏林和法国巴黎成为全球顶尖科学家工作的科学中心。1992—2022年美国纽约、波士顿、旧金山和洛杉矶作为全球顶尖科学家工作的科学中心地位持续得到巩固，这一时期全球顶尖科学家工作的空间路径主要集中于美国东西海岸之间。

4 全球顶尖科学家成长过程中的区域角色与路径选择因素

4.1 区域角色识别：从出生型、教育型到全能型的蜕变

在顶尖科学人才成长的空间路径中，大多数国家仅扮演着出生型和教育型的角色（表3）。其中，出生型国家是顶尖科学人才出生于此，而教育和工作大多都在其他国家完成；教育型国家主要承担着教育培养的职能角色，其培养的顶尖科学人才大多数被促成型国家收割；促成型国家主要扮演着工作地的职能角色，是顶尖科学家工作和取得科研突破的空间载体；全能型国家是在出生、教育、工作3个层面均具有比较优势的国家。

表3 1901—2022年不同国家在诺贝尔奖科学家成长过程中的角色职能演化
Tab. 3 Evolution of functions undertaken by different countries during the growth of the Nobel laureates in science, 1901-2022

角色类型	1901—1914年	1915—1938年	1939—1991年	1992—2022年
全能型	无	无	美国	美国
教育兼促成型	德国	德国	无	无
出生兼教育型	无	英国	无	无
促成型	英国、瑞典、奥地利、丹麦、西班牙、美国	美国、瑞典、加拿大、匈牙利、以色列	瑞士、瑞典、爱尔兰、苏联、比利时、丹麦、葡萄牙、阿根廷	瑞士、加拿大
教育型	法国、瑞士、意大利、荷兰、爱沙尼亚	奥地利、法国、丹麦、瑞士、比利时、荷兰、意大利、印度	英国、德国、加拿大、法国、芬兰、意大利、日本、荷兰、捷克、罗马尼亚、西班牙	英国、日本、德国、法国、瑞典、荷兰、以色列、丹麦、挪威、俄罗斯
出生型	波兰、俄罗斯、拉脱维亚、斯洛伐克、卢森堡、新西兰、乌克兰、印度	波兰、澳大利亚、俄罗斯、斯洛文尼亚、印度尼西亚	波兰、挪威、俄罗斯、澳大利亚、奥地利、中国、匈牙利、巴基斯坦、南非	澳大利亚、中国、奥地利、意大利、比利时、匈牙利、波兰、南非

1901—1914年仅德国同时扮演着两种职能，教育兼促成型，意味着德国不仅是这一时期全球的教育中心，同时也是顶尖科学家工作取得科研突破的核心国家，促成型国家有英国、瑞典、奥地利等国，教育型国家有法国、瑞士、意大利等国，但其培养的科学人才大多被促成型国家所收割。1915—1938年德国依然扮演着教育兼促成型的职能角色，英国承担着出生兼教育型，促成型的国家有美国、瑞典、加拿大等国，教育型的国家有奥地利、法国、丹麦等国。1939—1991年美国从促成型国家发展成为全球唯一的全能型国家，德国从二战前的教育兼促成型衰落为教育型国家。1992—2022年美国在全球顶尖科学家成长路径网络中的全能型职能角色持续得到巩固，促成型国家仅剩瑞士和加拿大两国，英国、日本、德国、法国等仅承担着教育型的职能角色，东欧以及亚非拉国家仅扮演着出生型的角色。

总体来看，二战以来，仅有美国发展为全能型国家，而且美国的起点是促成型，反映出美国的科学人才中心的兴起在初始阶段并不是依靠本地人才造就，而是在吸引和集聚其他国家人才的基础上，在二战以后逐渐实现“本土化”自主人才培养，最终从促成型蜕变为全球唯一的全能型国家，在出生、教育、工作3个层面均具有明显的优势。

对全球城市在顶尖科学家成长过程中的职能角色进行识别发现, 仅巴黎、纽约和波士顿3个城市承担过两个职能, 其他大多数城市主要扮演着教育型的角色, 能从教育型发展晋升为促成型的只占少数, 二战后的波士顿和纽约一直分别扮演着教育兼促成型和出生兼促成型的职能角色(表4)。1901—1914年仅巴黎承担着出生兼促成型两个职能角色, 伦敦、斯德哥尔摩、慕尼黑等城市扮演着促成型角色, 柏林、莱顿、哥廷根、剑桥等城市仅扮演着教育型职能角色。1915—1938年没有出现两个职能角色以上的城市, 柏林、伦敦、海德堡、巴黎等城市承担着促成型的职能角色, 剑桥、纽约、波士顿、慕尼黑等城市承担着教育型的职能角色。1939—1991年美国波士顿迅速从教育型城市发展为教育兼促成型城市, 纽约则从教育型发展为出生兼促成型。1992—2022年波士顿和纽约依然分别扮演着教育兼促成型和出生兼促成型的职能角色, 在促成型的城市中, 旧金山、洛杉矶、芝加哥等美国城市迅速崛起。

表 4 1901—2022 年不同城市在诺贝尔奖科学家成长过程中的角色职能演化
Tab. 4 Evolution of functions undertaken by different cities during the growth of the Nobel laureates in science, 1901-2022

角色类型	1901—1914 年	1915—1938 年	1939—1991 年	1992—2022 年
全能型	无	无	无	无
教育兼促成型	无	无	波士顿	波士顿
出生兼促成型	巴黎	无	纽约	纽约
促成型	伦敦、斯德哥尔摩、慕尼黑、纽约、阿姆斯特丹、法兰克福、曼彻斯特	柏林、伦敦、海德堡、巴黎、洛杉矶、斯德哥尔摩、英国牛津、多伦多、曼彻斯特、伯明翰、基尔、罗马	芝加哥、旧金山、伦敦、洛杉矶、莫斯科、斯德哥尔摩、英国牛津、苏黎世、巴黎、华盛顿、巴塞尔、海德堡、圣路易斯、戴恩、哥本哈根、费城、纽黑文、达拉斯、日内瓦、罗马、京都、圣地亚哥、奥斯陆	旧金山、洛杉矶、芝加哥、伦敦、东京、华盛顿、圣地亚哥、博尔德、京都、巴尔的摩、西雅图、达勒姆、休斯敦、海法、达拉斯、香槟、曼彻斯特
教育型	柏林、莱顿、哥廷根、英国剑桥、伯尔尼、莱比锡、圣彼得堡、苏黎世、波士顿、海德堡、哥本哈根、马德里、帕维亚、里昂、博洛尼亚、格罗宁根、罗斯托克	英国剑桥、纽约、波士顿、哥廷根、哥本哈根、慕尼黑、格拉茨、苏黎世、莱比锡、布鲁塞尔、乌得勒支、弗莱堡、维尔茨堡	英国剑桥、慕尼黑、柏林、布魯塞尔、哥廷根、巴尔的摩、法兰克福、香槟、布拉格、克里夫兰、赫尔辛基、爱丁堡、弗赖堡、基尔、曼彻斯特、底特律、都灵、蒙特利尔、莱比锡、马尔堡、罗彻斯特	巴黎、英国剑桥、名古屋、费城、日内瓦、慕尼黑、汤普金斯、海德堡、纽黑文、英国牛津、珀斯、哥廷根、法兰克福、莫斯科、哥本哈根、特拉维夫、爱丁堡、特拉维夫、斯德哥尔摩、蒙特利尔、匹兹堡、大阪、巴塞尔、戴恩、罗彻斯特、北京
出生型	格拉斯哥、卢森堡、费城、罗马、鹿特丹	佛罗茨瓦夫、布莱顿、布里斯托尔、戴恩、法兰克福、汉堡	东京、匹兹堡、布达佩斯、阿罗斯托克、哈特福、汉堡、圣彼得堡、埃德蒙顿	柏林、埃德蒙顿、布鲁塞尔、汉堡、罗马、密尔沃基、布莱克浦、吉姆韦尔斯、上海、圣路易斯

4.2 影响顶尖科学家成长路径选择的因素

相较于一般人口流动迁移而言, 顶尖科学家流动的影响机制有其一般性和特殊性, 不同阶段影响顶尖科学家成长路径选择的因素也存在差异性。一战前, 来源国内外政治环境的不稳定性是促使顶尖科学家跨国流动的主要诱因; 一战爆发至二战前, 除了来源国政治环境不稳定性产生的推力以外, 这一时期目的地国内外政治环境的不稳定性也对全球顶尖科学家成长流动构成了重要的阻力, 高等教育、生存环境以及社会制度的邻近性也是这一时期顶尖科学家成长过程中选择目的地时考量的主要因素; 二战爆发至“冷

战”期间，目的地的科学发展水平对顶尖科学家流动的影响并不显著，来源国与目的地国内外政治环境的不稳定性是顶尖科学家流动首要考量因素；“冷战”结束后，目的地国的外部冲突对顶尖科学家的跨国流动的影响弱化，科学发展水平的拉力作用变得越来越显著（表5）。

表5 变量回归结果
Tab. 5 Variable regression results

要素	指标	阶段			
		1901—1914年	1915—1938年	1939—1991年	1992—2022年
政治环境	来源国内部武装冲突	0.895**	1.118***	0.301*	0.002*
	目的地国内武装冲突	-1.685	-0.368**	-0.356***	0.305
	来源国国际武装冲突	0.169*	1.168***	0.566**	0.935***
	目的地国际武装冲突	-8.588	-0.001***	-0.717**	-0.207
高等教育	来源地顶尖高校数量	0.012	0.277**	1.713*	0.182**
	目的地顶尖高校数量	0.540**	0.119***	0.308*	0.412***
科学发展	来源地顶尖科学成果数量	-0.061	-2.335***	-0.473*	-0.001
	目的地顶尖科学成果数量	1.914**	0.417	0.233	0.367***
生存环境	来源地平均寿命	-0.670*	-0.349**	-0.230**	0.299
	目的地平均寿命	3.425	0.222**	0.114*	0.751
文化联系	来源地与目的地语言文化关系	0.119	0.107	0.441	0.008
	来源地与目的地历史殖民联系	1.253***	0.247**	0.038	0.783**
地理距离	来源地与目的地地理距离	-0.319***	-0.154*	-0.374*	-0.688***
工资收入	来源地劳动者实际工资收入	-0.048*	-2.449**	-0.303	-1.061
	目的地劳动者实际工资收入	1.727	0.092	2.829	0.141
经济发展	来源地人均GDP(PPP)	-0.180*	-0.376	-0.226	-0.052
	目的地人均GDP(PPP)	0.301	1.306	0.934	0.010

注：***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，*表示 $p < 0.10$ 。

（1）政治环境的不稳定性是不同阶段影响顶尖科学家成长路径选择的重要因素。一战前，来源国内外部武装冲突分别在5%和10%水平上显著相关，表明来源国内外部政治环境的不稳定性是这一时期诱发顶尖科学家流动的主要因素；一战爆发至二战前以及二战爆发至“冷战”期间，来源国和目的地国的内外部武装冲突均通过了显著性检验，且目的地的回归系数均为负值，表明这一时期除了来源国政治环境的不稳定性产生的推力以外，目的地国内外政治环境的不稳定性也对全球顶尖科学家成长流动构成了重要的阻力。“冷战”结束以后，国际政治环境趋于稳定，目的地国的内外部冲突对顶尖科学家流动的影响弱化，没有通过显著性检验。

（2）优质的高等教育资源一直是促进顶尖科学家流动的重要因素，但科学发展水平在动荡时期并不是影响顶尖科学家成长路径选择的显著因素。来源地和目的地顶尖高校数量的回归系数在4个研究时序内均为正值，除了一战前来源地的顶尖高校没有通过显著性检验外，其余时期均通过了显著性检验，表明无论是来源地还是目的地，顶尖高校均会在流入和流出两个方向上促进顶尖科学家的成长流动。科学发展水平在一战前和“冷战”后的和平时期均通过了显著性检验，是影响顶尖科学家成长路径选择的重要因素，但是在一战爆发至二战前以及二战爆发至“冷战”的动荡时期没有通过显著性检验。

（3）生存环境是影响顶尖科学家成长路径选择的重要“推—拉”因素。回归分析发现，来源地平均寿命在“冷战”结束前的3个研究期内回归系数均为负值，且均在5%或

10%水平上通过了显著性检验,表明来源地较差的生存环境是影响顶尖科学家成长路径选择的重要推力因素,而目的地的平均寿命在一战爆发至“冷战”期间回归系数为正值,且在5%或10%水平上通过了显著性检验,表明目的地的生存环境在一战爆发至“冷战”期间是影响顶尖科学家成长路径选择的重要拉力因素。

(4)文化联系中的社会制度邻近性对顶尖科学家成长路径选择的影响较大,而语言文化关系的影响不显著。来源地与目的地间的语言文化关系在4个阶段的回归系数均没有通过显著性检验,可能因为英语一直是科学界通用的工作性语言,因此母语的差异性并非是阻碍顶尖科学家流动的重要因素。文化联系中的社会制度邻近性(历史殖民联系)的回归系数均为正值,在多数研究期内的显著性水平为1%或5%,表明社会制度邻近性是影响顶尖科学家成长路径选择的重要因素之一。

(5)地理距离是影响顶尖科学家成长路径选择的重要阻力因素。回归发现,来源地与目的地间的地理距离在4个研究时序内的回归系数均为负值,而且均通过了显著性检验。表明即使交通和信息通讯技术高速发展,地理距离仍然是科学人才流动中一个重要阻力变量。

(6)来源地的工资收入在一战前以及一战至二战期间的回归系数为负值,且通过了显著性检验,表明在这段时期,来源地的低收入是影响顶尖科学家路径选择的重要推力因素,而目的地的工资收入以及来源地和目的地的经济发展对顶尖科学家成长路径选择的影响没有通过显著性检验。表明虽然目的地的工资水平和经济发展被广泛证实在人口流动中起到重要作用。但是科学人才流动特别是顶尖科学家流动的内在动力是着重追求施展才能和自我价值的实现,其基本物质需求已满足,高校、科研机构等工作和科研平台是其主要考量因素。

5 结论与讨论

5.1 结论

人才成长过程中流动的空间路径虽然纷繁多样,但并非无迹可寻,正确认识顶尖科学人才的群体性特征,从特定人才群体成长过程中流动的空间路径倒推,执果索迹,有利于总结和发现顶尖科学人才成长的时空规律。本文对1901—2022年全球顶尖科学家成长的空间路径、区域角色与路径选择因素进行探讨,兼具现实导向与理论意义。研究主要结论如下:

(1)全球顶尖科学家成长的空间路径具有明显的机构群落效应,取得科研突破高度依赖少数科研机构。有21.9%的机构获得3人次及以上诺贝尔四大科学奖,占获奖总人次的67.4%,其中高校占比68.2%,占获奖总人次的74.8%,研究院所占比30.0%,占获奖总人次的22.1%,反映出高校、科研院所是顶尖科学家成长的关键空间载体,是其工作阶段取得科研突破的重要“助推器”。

(2)教育阶段,全球顶尖科学家成长的教育中心具有显著的更迭演替现象,呈现来源的相对广泛性和流入的高度集聚性特征。美国、德国和英国占全球顶尖科学家求学流量的75.6%。二战至“冷战”期间,全球顶尖科学家求学路径开始从以西欧为单中心的空间结构演变成以西欧—北美为双中心的空间结构,美国在顶尖科学家求学网络中的地位迅速崛起。

(3)工作阶段,全球顶尖科学家工作的科学中心存在明显的地理转移现象,流向进一步收窄极化,被少数国家收割,呈现由欧洲内部流动转向跨大西洋流动的变化过程。

二战前,绝大多数顶尖科学家工作阶段流动路径集聚在欧洲内部,二战爆发至“冷战”期间,全球顶尖科学家工作阶段流动路径开始由欧洲内部流动转向跨大西洋流动,美国迅速成为全球最大的科学人才“磁石国家”,其吸引集聚的顶尖科学家规模占全球顶尖科学家工作阶段总流量的53.7%。

(4) 顶尖科学家成长过程中的区域职能角色分化为出生型、教育型、促成型、出生兼教育型、教育兼促成型、全能型等6种。二战后,德国从教育兼促成型衰落为教育型国家,美国则顺势发展成全球唯一的全能型国家,且美国职能角色提升路径的起点始于促成型,反映出美国科学人才中心的兴起在初始阶段并非依靠本地人才培养造就,而是在吸引和集聚其他国家人才的基础上,逐渐实现“本土化”自主人才培养,并最终在出生、教育、工作3个阶段兼具比较优势。

(5) 相较于一般人口流动而言,顶尖科学家流动的影响机制有其一般性和特殊性,语言被广泛证实是一般人口跨国流动中起到重要作用,但对顶尖科学家流动的影响并不显著,文化联系中的社会制度邻近性、政治环境以及高等教育是顶尖科学家流动迁移考量的重要因素,而目的地的科学发展水平在动荡时期对顶尖科学家流动的影响并不显著。

5.2 讨论

Bilecen等在有关国际学术流动性和不平等性的特刊介绍中强调当前科学人才流动研究需要重点关注国际学术流动的动态以及国家内部和跨国之间的不平等性^[9]。长期以来,地理学关注的科学人才流动更多地集中在职业阶段的空间流动,对科学人才成长过程中流动的空间规律刻画不足,难以揭示各国或地区在科学人才成长过程中的位置变迁和角色演化。本文尝试从科学人才成长的全阶段,拓宽研究的时空跨度,对1901—2022年全球视域下科学人才成长轨迹的历史性和地理性规律进行挖掘。研究表明全球顶尖科学家流动并非严格遵循经济差距的“垂直流动”,国家内外政治环境的不稳定性、国家间的历史殖民联系、文化关系等批判与结构主义理论比较注重的关系结构性因素左右着全球顶尖科学家流动路径的抉择。反映出,虽然大量的研究渲染全球化、自由化以及普世的世界文化的迅速传播,但并不意味着包括顶尖科学家在内的人口的跨国流动完全是个人层面的自由流动的结果,政治关系、历史殖民联系、地理距离等对科学人才跨国流动的影响从来没有消失,并且由此造就了100多年来全球顶尖科学家流动的地理空间格局全貌。

本文对国家宏观层面人才培养的政策具有一定的启示意义。① 研究中发现顶尖科学人才的成长高度依赖少数科研机构,反映出一流的教育科研平台对顶尖科学人才培养和成长的重要性。当前中国一流科研院所建设与欧美国家有着较大差距,世界顶尖前20名高校全部集中在欧美国家,这为中国实现自主顶尖科学人才培养带来不少挑战。建设世界重要人才中心,需要着力加强中国一流科研院所建设,以此为载体,把握科学人才成长规律,完善和创新科学人才培养机制,助力本土科学人才快速成长。② 研究表明全球顶尖科学人才成长路径具有明显的机构群落效应,在大量优质的科研资源和成长机会的灌溉浇筑下,顶尖科学人才会以群落的形式产生,这就需要中国及时调整优化本土青年科学人才的成长环境,提高对本土科学人才的重视,给予本土青年科学人才更多的科学资源和成长机会。③ 研究发现在国家职能角色演化上,二战后美国职能角色提升路径的起点始于促成型,反映出其人才培养是在吸引和集聚其他国家人才的基础上,逐渐实现“本土化”自主人才培养的过程,中国可借鉴提供具有全球竞争力的薪酬和福利待遇,面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,分层次引进海外高层次科研人才,建立相对宽松的与国际接轨的“绿卡”制度,适度开放科技移

民,对有移民倾向的高层次科研人才,在技术签证、开通“绿卡”和入籍制度等方面给予政策优惠。

本文以诺贝尔四大科学奖获得者从出生到教育再到工作取得科研突破之间的成长历程为时间周期,探索全球顶尖科学家成长的空间路径、区域角色与路径选择因素,试图丰富和拓展当前人文经济地理有关科学人才流动的研究内容和研究视角,但本文依然存在一些不足:①虽然诺贝尔科学奖是当今全球科学领域内最重要的奖项,代表着科学领域前沿研究的最高水平和科学发展走势,但诺贝尔科学奖获得者只是顶尖科学家的少数代表,虽然具有一定的代表性,但无法全面反映全球顶尖科学家成长路径的全貌。②大学、科研院所等科研机构是全球顶尖科学人才集聚的主要空间单元,国家和城市主要依赖于这些一流的科研平台培养和集聚全球顶尖科学人才,因此对顶尖科学人才成长流动过程中的机构—城市—国家的尺度效应的探讨具有重要意义,受限于顶尖科学家的履历和人生点滴数据及内容详略差异较大,信息数据存在较多删失/截尾,导致本文对顶尖科学家在机构尺度的成长路径分析不足。③未来研究中,在丰富的履历点滴数据支撑下,可进一步将顶尖科学人才成长流动阶段的年龄纳入模型,从生命周期视角考察顶尖科学人才成长流动效应。

致谢:真诚感谢3位匿名评审专家对论文的框架、数据、方法、结果分析等方面提出的翔实而宝贵的意见和建议,使本文获益匪浅。

参考文献(References)

- [1] Du Debin. Global Scientific and Technological Innovation Centers: Theory and Practice. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2024. [杜德斌. 全球科技创新中心理论与实践. 上海: 上海科学技术出版社, 2024.]
- [2] Hou Chunguang, Du Debin, Liu Chengliang, et al. Spatiotemporal evolution of global talent mobility network based on the data of international student mobility. *Geographical Research*, 2019, 38(8): 1862-1876. [侯纯光, 杜德斌, 刘承良, 等. 全球人才流动网络复杂性的时空演化: 基于全球高校留学生流动数据. 地理研究, 2019, 38(8): 1862-1876.]
- [3] Du Debin, Duan Dezhong, Xia Qifan. A comparative study of Sino-US science and technology competitiveness. *World Regional Studies*, 2019, 28(4): 1-11. [杜德斌, 段德忠, 夏启繁. 中美科技竞争力比较研究. 世界地理研究, 2019, 28(4): 1-11.]
- [4] Vaccario G, Verginer L, Schweitzer F. The mobility network of scientists: Analyzing temporal correlations in scientific careers. *Applied Network Science*, 2020, 5(1): 36. DOI: 10.1007/s41109-020-00279-x.
- [5] Dai Tao, Song Jie, Zhang Bo, et al. Path and required environment for growth of innovative talents in the new era. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(5): 773-777. [代涛, 宋洁, 张博, 等. 新时代创新人才成长路径及所需环境. 中国科学院院刊, 2023, 38(5): 773-777.]
- [6] Gu Chengwei, Luo Huiwen, Dong Hanqiong, et al. Analysis on the growth path of young talents in independent medical university based on interval time coefficient: A case study of national natural science foundation of China. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2022, 36(2): 301-308. [辜承慰, 罗惠文, 董涵琼, 等. 基于间隔时间系数的独立医科大学青年人才成长路径分析: 以国家自然科学基金项目为例. 中国科学基金, 2022, 36(2): 301-308.]
- [7] Vaccario G, Verginer L, Schweitzer F. Reproducing scientists' mobility: A data-driven model. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 10733. DOI: 10.1038/s41598-021-90281-9.
- [8] Mu Xiaoyong. On the cultivation of talents in science: Based upon stories from laureates of Nobel prize. *Research in Educational Development*, 2016, 36(9): 18-24. [毋小勇. 论科学创新人才的一体化培养: 来自诺贝尔奖获得者的启示. 教育发展研究, 2016, 36(9): 18-24.]
- [9] Kaliannan M, Darmalinggam D, Dorasamy M, et al. Inclusive talent development as a key talent management approach: A systematic literature review. *Human Resource Management Review*, 2023, 33(1): 100926. DOI: 10.1016/j.hrmr.2022.100926.
- [10] Sun Yutao, Guo Rongyu. Shifting of world's scientific activity center and transnational migration of scientists: An example of the Nobel laureates in physics. *Studies in Science of Science*, 2018, 36(7): 1161-1169. [孙玉涛, 国容毓. 世

- 界科学活动中心转移与科学家跨国迁移: 以诺贝尔物理学奖获得者为例. 科学学研究, 2018, 36(7): 1161-1169.]
- [11] Ma Haitao, Zhang Fangfang. Literature review on the impetus and influence of talents mobility between countries and regions. *Economic Geography*, 2019, 39(2): 40-47. [马海涛, 张芳芳. 人才跨国流动的动力与影响研究评述. 经济地理, 2019, 39(2): 40-47.]
- [12] Liu Ye, Zeng Jingyuan, Wang Ruoyu, et al. The relationship between geographical concentration of researchers and regional innovation in China. *Economic Geography*, 2019, 39(7): 139-147. [刘晔, 曾经元, 王若宇, 等. 科研人才集聚对中国区域创新产出的影响. 经济地理, 2019, 39(7): 139-147.]
- [13] Hou Chunguang, Du Debin, Duan Dezhong, et al. The evolution of the network structure of talent mobility in countries or regions along the "Belt and Road". *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(11): 1711-1718. [侯纯光, 杜德斌, 段德忠, 等. "一带一路"沿线国家或地区人才流动网络结构演化. 地理科学, 2019, 39(11): 1711-1718.]
- [14] Mendoza C, Staniscia B, Ortiz A. "Knowledge migrants" or "economic migrants"? Patterns of academic mobility and migration from Southern Europe to Mexico. *Population, Space and Place*, 2020, 26(2): e2282. DOI: 10.1002/psp.2282.
- [15] Schaer M. From mobility attractiveness to mobility fatigue: The impact of repeated transnational mobility on the lives and aspirations of early-career academics. *Population, Space and Place*, 2022, 28(5): e2536. DOI: 10.1002/psp.2536.
- [16] Tremblay K. Academic mobility and immigration. *Journal of Studies in International Education*, 2005, 9(3): 196-228.
- [17] Larbi F O, Ashraf M A. International academic mobility in Chinese academia: Opportunities and challenges. *International Migration*, 2020, 58(3): 148-162.
- [18] Fahey J, Kenway J. International academic mobility: Problematic and possible paradigms. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 2010, 31(5): 563-575.
- [19] Bilecen B, Van Mol C. Introduction: International academic mobility and inequalities. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 2017, 43(8): 1241-1255.
- [20] Teichler U. Academic mobility and migration: What we know and what we do not know. *European Review*, 2015, 23 (S1): S6-S37.
- [21] Sun Kang, Si Yuefang. The geographical structure and influencing factors of talent mobility: The resume analysis of highly cited Chinese scientists. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(8): 2113-2130. [孙康, 司月芳. 创新型人才流动的空间结构与影响因素: 基于高被引华人科学家履历分析. 地理学报, 2022, 77(8): 2113-2130.]
- [22] Shutaleva A, Martyushev N, Starostin A, et al. Migration potential of students and development of human capital. *Education Sciences*, 2022, 12(5): 324. DOI: 10.3390/educsci12050324.
- [23] Baruffaldi S H, Landoni P. Mobility intentions of foreign researchers: The role of non-economic motivations. *Industry and Innovation*, 2016, 23(1): 87-111.
- [24] Alvarez M, Royuela V. The effect of labor-market differentials on interregional migration in Spain: A meta-regression analysis. *Journal of Regional Science*, 2022, 62(4): 913-937.
- [25] Raghuram P. Caring about 'brain drain' migration in a postcolonial world. *Geoforum*, 2009, 40(1): 25-33.
- [26] Bailey A J, Yeoh B S A. Migration, society and globalisation: Introduction to virtual issue. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2014, 39(3): 470-475.
- [27] Han Jiayan, Zhao Yong. Research on the Nobel prize effect in citation relation: A case study of chemistry laureates from 2009 to 2016. *Journal of Intelligence*, 2021, 40 (7): 174-181, 200. [韩佳燕, 赵勇. 引用关系中的诺贝尔奖效应研究: 以2009-2016年21位诺贝尔化学奖得主为例. 情报杂志, 2021, 40(7): 174-181, 200.]
- [28] Bao Xueying, Chen Gong, Liu Mulin. Analysis of characteristics of international qualified scientists and technicians based on personal curriculum vitae: Taking Nobel laureates in physics, chemistry and physiology or medicine during last decade for example. *Journal of Modern Information*, 2014, 34 (9): 4-9. [鲍雪莹, 陈贡, 刘木林. 基于履历信息的国际科技人才特征分析: 以近十年诺贝尔物理、化学、生理或医学奖得主为例. 现代情报, 2014, 34(9): 4-9.]
- [29] Beckhusen J, Florax R J G M, Poot J, et al. Attracting global talent and then what? Overeducated immigrants in the United States. *Journal of Regional Science*, 2013, 53(5): 834-854.
- [30] Hamann J. The visible hand of research performance assessment. *Higher Education*, 2016, 72(6): 761-779.
- [31] Kerr S P, Kerr W, Özden Ç, et al. Global talent flows. *Journal of Economic Perspectives*, 2016, 30(4): 83-106.
- [32] Ng P T. Singapore's response to the global war for talent: Politics and education. *International Journal of Educational Development*, 2011, 31(3): 262-268.
- [33] Ma Haitao. Triangle model of Chinese returnees: A tentative method for city networks based on talent flows. *Geographical Research*, 2017, 36(1): 161-170. [马海涛. 基于人才流动的城市网络关系构建. 地理研究, 2017, 36(1): 161-170.]
- [34] Duan Dezhong, Du Debin, Gui Qinchang, et al. The geography of Chinese entrepreneurial development. *Human*

Geography, 2018, 33(4): 102-112. [段德忠, 杜德斌, 桂钦昌, 等. 中国企业家成长路径的地理学研究. 人文地理, 2018, 33(4): 102-112.]

- [35] Shi Yajuan, Zhu Yongbin, Huang Jinchuan. Evolution of industrial specialization pattern in Zhongyuan urban agglomeration and its functional orientation. *Economic Geography*, 2017, 37(11): 84-91. [史雅娟, 朱永彬, 黄金川. 中原城市群产业分工格局演变与功能定位研究. *经济地理*, 2017, 37(11): 84-91.]

The geographical pathways, regional functions, and influencing factors of leading scientists growth

HOU Chunguang^{1,2}, DU Debin³, LIU Chengliang³

(1. Hubei Provincial Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 2. College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 3. Institute for Global Innovation & Development, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

Abstract: The growth and cultivation of leading scientific talent has become a hot topic for the government and academia. However, previous research has focused on education and management issues in the process of talent growth, while the geographical factors and processes influencing talent growth have been overlooked and neglected. Based on the education and work resumes of Nobel laureates in science, this paper systematically deconstructs the geographical pathways, regional functions, and influencing factors involved in the growth of leading scientists from 1901 to 2022. The main conclusions can be drawn as follows: (1) The geographical pathways of the growth of leading scientists has a significant institutional community effect, and achieving scientific breakthroughs is highly dependent on a few research institutions. (2) In the education stage, the educational centers where leading scientists grow up exhibit a significant phenomenon of succession, showing a wide range of sources and the highly degree of aggregation of inflows. And the United States, Germany and the United Kingdom account for 78.3% of the volume of leading scientists mobility in the education stage. (3) In the work stage, the geographical pathways of the growth of leading scientists has further narrowed, and there is a clear geographical transfer in the scientific centers where leading scientists work. The United States has become the largest "magnet country", accounting for 53.7% of the volume of leading scientists mobility in this stage. (4) During the growth process of leading scientists, regional functions are divided into six types: birth, education, promotion, birth and education, education and promotion, and omnipotent. After World War II, only the United States has developed into omnipotent type. (5) The influence mechanism of the mobility of leading scientists has its generality and particularity. Language has been widely proven to play an important role in the cross-border flow of the general population, but its impact on the migration of leading scientists is not significant. The proximity of social systems, political environment, and higher education are important factors for leading scientists to consider in their migration. However, the scientific development level of destinations does not significantly affect the mobility of leading scientists in turbulent times.

Keywords: leading scientists; talent growth; geographical pathways; regional functions; influencing factors