

我国科普建设与科技创新发展耦合协调度评价研究*

■ 罗桂芳^{1**} 张晶晶^{2**}

1. 中国科学院大学中丹学院 北京 100090

2. 中国科学院大学公共政策与管理学院 北京 100090

摘要:科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼,只有二者相互促进、协调发展,才能更好地推进我国的科技强国建设。为探究我国科普建设与科技创新发展的协同状况,本研究采用熵权法对2004~2020年间各年度的科普建设及科技创新水平进行了综合评价,通过耦合度模型对二者的耦合协调程度进行了测量。结果显示,随着政府对科普工作的重视和投入的增加,我国科普建设与科技创新之间的耦合协调度总体呈上升趋势,2017~2018年由于科普发展方向上的局部调整,出现了短暂的波动。最后,基于我国当前科普建设情况,本研究从建立更加完善的科普工作机制和评估监测体系、更广泛吸纳社会资本和社会力量、充分利用新兴技术和多元手段3方面提出建议。

关键词:科普建设 科技创新 协调发展

DOI:10.11842/chips.20230308001

0 引言

科技创新与科学普及如一体两翼,二者之间存在着相互作用、相互影响、相互依赖的辩证统一关系,只有二者协调发展、相互促进,才有助于释放科技发展的巨大潜能,实现高质量发展。国内学者李大光^[1]等人最早从破除迷信,提高公众分辨真伪科学的能力的角度出发阐述我国发展科普事业的必要性;郑永和等学者^[2]从科普建设能够服务人的全面发展、壮大国家人才队伍建设以及推动科技成果转化3方面作用阐述新时代科普建设的重要战略定位;徐冠华学者^[3]则从科普建设有利于启发

社会创新思维、弘扬科学精神的角度强调科普事业对于科技创新的重要作用。

国外研究中,一般以“公众理解科学”的概念来阐述科学普及,1985年英国皇家学会发布的《公众理解科学》^[4]的报告中从培养潜在科技人才、增强公民对科技风险的认识、提高政府在科技事项上的决策质量、缓解科技引起的公众舆论压力、帮助公众更好地适应科技社会生活等多个方面阐述了公众科学素养的提高和公众理解科学的重要性。在这之后,Alan Iwrin^[5]等西方学者在“公众理解科学”理念的基础上进一步提出“公众科学”的概念,指出公众也能像科学家一样参与科学知识的生

* 2022年国家自然科学基金青年项目(72102221):内外部创新网络的协同演化及交互效应研究;基于多层次网络的视角,负责人:张晶晶;2022年中国科学院大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(E2E42106):国内与国际创新网络的政策前因和创新绩效影响研究,负责人:张晶晶。

** 罗桂芳,在读硕士研究生,研究方向:创新政策;张晶晶(通讯作者),博士,副教授,博士生导师,研究方向:创新政策;创新网络。

产过程。具体来说,公众可以通过辅助科学家进行大规模、地域广泛的数据采集,参与社区观察项目,或者是公众自愿成为观察对象,等方式来参与科学研究,实现公众的科学知识生产价值,这是科普建设的更高层目标。

科技创新的发展需要更加完善的科普建设,只有将科学技术大众化、社会化,才能实现更加长远而持续的科技进步。已有的科普建设与科技创新的协调性研究中,李婷等学者^[6]定位于区域性层面,构建起对省级层面科普能力评价的指标体系;李倩^[7]、丁刚^[8]等学者进一步以回归模型等定量方式测量国内各省的科普建设与科技创新之间的关联性,这些定量测量方式为了了解各省科普水平的实际发展情况提供了方法论参照。当前我国正处于全国性的全面改革创新推进期,政策实践要求营造全社会关注科技创新参与科技创新的良好氛围。对此,在对区域间科普能力比较的同时,也需从国家整体层面关注科普建设与科技创新的协调发展。任嵘嵘等学者^[9]站在落实国家科普事业发展的战略要求的高度,对2004~2010年间我国科普建设与科技进步的关联性进行了测度,为充分认识我国科普事业发展状况及其对科技进步的贡献作出了较好的阐述。但在2010年后,我国科普事业发展水平已有了较大提升,提质后的科普建设与科技创新的协调关系也随之发生了变化,因此亟需依据最新的科普数据,更加全面地掌握我国科普建设情况,以及当前科普建设与科技创新发展之间的耦合协调程度。

本研究拟采用熵权法对2004~2020年间的科普建设情况及科技创新水平进行综合评价,接着通过耦合度和耦合协调度计算模型,测量和分析这一时期我国科普建设与科技创新发展之间的协调发展程度,并在此基础上对当前我国科普建设面临的挑战提出针对性建议。基于此,本研究能够在已有研究的基础上,对近年来国家对科普事业加大提质力度从而使我国科普建设能力产生较大程度变化后,利用最新数据对我国科普建设水平进行系统性测量,并通过对科普建设与科技创新之间耦合协调关系的深入分析,定位我国科普建设的缺口、短板和难点,为提升我国科普建设水平的政策发力点和实践着力点提供实证性依据。

1 我国科普建设与科技创新水平耦合协调程度测量

按照耦合度计算模型,首先需要构建对科普建设和科技创新水平的综合评价指标体系,并计算出这两个系

统一时期内的综合评价价值;在前述基础上,采用耦合度和耦合协调度模型计算出该时期内科普建设与科技创新水平综合指标值的耦合程度。

1.1 科普建设综合评价

关于科普建设的综合评价,任嵘嵘等学者^[10]构建了以科普投入、基础设施、科普人员、科普创作及科普活动组织五项一级指标23项具体指标为基础评价标准的区域科普能力评价指标体系;丁刚学者^[8]则从科普投入、科普设施、科普传媒、科普活动4个维度选取了21个指标测量了2011~2017年国内各省域的科普能力建设水平。参照上述指标体系,结合数据可得性、稳定性原则,本研究构建了从科普人员、科普经费和设施、科普活动、科普媒体、咨询与建议五个维度的综合评价指标体系(表1)对我国2004~2020年的科普能力建设进行综合评价。另外,为区分这些指标值之间的权重差异,本研究采用熵权法来测度各指标的权重,由此避免赋权过程中主观因素造成的偏差。其计算步骤^{[8][10][11]}如下:

本研究中的指标均为极大值指标,故无须进行矩阵正向化操作,直接构建基于 n 个评价对象的 m 个评价指标的原始矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对该矩阵数据进行标准化处理后得到矩阵 Z ,对于矩阵 Z 中的每一个元素 z_{ij} ,其标准化计算公式为:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2)$$

接着计算指标信息熵,对于第 j 个指标而言,其信息熵计算公式为:

$$e_j = \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (j = 1, 2, \cdots, m) \quad (3)$$

其中 p_{ij} 为矩阵 Z 的概率矩阵 P 中的元素, $p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}}$,

最后对信息熵归一化并计算出每个指标的最后熵权值:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (4)$$

本研究采用的评价科普建设水平的具体指标及计算得出各熵权值见表1。详细数据来源于2004~2020年间《中国科技统计年鉴》。

1.2 我国科技创新水平综合评价

科技创新是一个涵盖了科技实力 and 创新能力、创新

表1 科普建设水平综合评价指标及其权重

目标	维度	具体指标	权重系数 W
科普建设综合评价	科普人员	街道科普协会个人会员(万人)	12.56%
		乡镇科普协会个人会员(万人)	10.61%
		农村专业技术协会个人会员(万人)	4.82%
	科普经费和设施	科技馆(科普活动中心)(个)	12.27%
		科普经费筹集总额(万元)	3.52%
	科普活动	境内举办学术交流活动(次)	7.16%
		举办科普讲座(次)	6.00%
		举办青少年科技竞赛(次)	5.27%
	科普媒体	科普网站(个)	5.41%
		科技期刊总印数(万册)	16.08%
		科技报纸总印数(万份)	4.22%
		科技图书总印数(万册)	2.58%
	咨询与建议	完成技术咨询合同(项)	1.99%
		反映科技工作者建议(项)	7.50%

表2 科技创新水平综合评价指标及其权重

目标	维度	具体指标	权重系数 W
科技创新水平综合评价	研发潜能	R&D人员全时当量(万人年)	2.46%
		研究生在校生人数(万人)	4.40%
		规模以上有研发机构的企业数(个)	16.08%
	投入支撑	R&D经费支出(亿元)	13.79%
		科技拨款与公共财政支出之比	0.08%
	知识创新	发表科技论文(万篇)	2.60%
		重大科技成果项目(项)	2.45%
		专利授权数(件)	17.84%
	应用成果	高新技术产品进出口额(亿美元)	4.58%
		技术市场成交额(亿元)	23.06%
		企业新产品收入(亿元)	12.65%

绩效和成果、科技管理和创新环境等多维内容的复杂概念,因此对其评价指标体系的构建也应当考虑多方面因素。蔡晓琳等学者^[12]在对珠三角地区的城市科技创新能力进行综合评价时,采用了包含科技创新环境、投入能力、实施能力和产出能力四个维度的评价指标体系;杨力等学者^[11]在城市科技创新能力评价时较为注重创新领域中的人才管理和人才潜能,因此构建了从科技投入、人才培养、科技就业质量3个一级指标12个二级指标的评价体系。基于以上学者建立的指标体系,本研究从研发潜能、投入支撑、知识创新、应用成果这4方面选取了11个指标,并从《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》获得所需数据。对于科技创新的各评价指标,同样采取熵权法计算权重进行赋值,具体指标及权重见表2。

1.3 科普建设与科技创新耦合度计算

在计算得出的科普建设和科技创新的综合评价值基础上,使用耦合度模型计算2004~2020年间我国科普建设与科技创新的耦合程度,计算公式如下:

$$C_t = 2 * \left\{ \frac{P_t * K_t}{(P_t + K_t)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

其中 C_t 为科普建设与科技创新在年份 t 的耦合度值, $C \in (0, 1]$; P_t 代表年份 t 的科普建设综合评价值, K_t 代表年份 t 的科技创新水平综合评价值。需要指出的是,耦合度值 C 一般只度量系统间的相互作用程度,而不对该作用功效是否正向作出判断,因此常以另一个变量耦合协调度 D 来综合协调程度以及所研究的两个或多个系统

的整体发展水平^{[12][13]}。其计算公式为:

$$D_t = \sqrt{C_t^*(\alpha P_t + \beta K_t)} \quad (6)$$

其中, D_t 表示科普建设水平和科技创新水平在年份 t 的耦合协调度, α 和 β 分别为科普建设水平和科技创新发展水平对系统整体协调程度的贡献权重,且 $\alpha+\beta=1$,根据当前党和国家提出的“一体两翼”的重要论断,我们认为科普建设与科技创新发展具有同等重要的地位,因此本研究中 α 和 β 采取相同值,均为0.5。

上述耦合度和耦合协调度关注的是每一年份状态的静态耦合,为探究我国开始展开科普建设以来,其增长速度与科技创新水平的增长速度的协调程度,本研究还将计算并分析2004~2020年间科普建设与科技创新的动态变化率的耦合程度。参照孔雪松等学者^[14]的计算方式,动态耦合度及耦合协调度计算公式如下:

$$DC_t = 2 * \left\{ \frac{\Delta P_t * \Delta K_t}{(\Delta P_t + \Delta K_t)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$DD_t = \sqrt{DC_t * (\alpha \Delta P_t + \beta \Delta K_t)} \quad (8)$$

其中 DC_t 和 DD_t 分别为动态耦合度值及动态耦合协调度值, ΔP_t 和 ΔK_t 分别代表科普建设和科技创新的增长值,以当年变量值与前一年变量值的差计算,即 $\Delta P_t = P_t - P_{t-1}$; $\Delta K_t = K_t - K_{t-1}$, $t \in [2005, 2020]$ 。

2 我国科普建设与科技创新的耦合协调度结果分析

表3展示了我国2004~2020年科普建设与科技创新之间的耦合协调程度及动态耦合协调程度的计算结果,图1呈现了耦合协调度和动态耦合协调度随时间增减变化的折线图。结果显示我国科普建设与科技创新之间的耦合协调度在2004~2016年之间逐年上升,且该时期对应的动态耦合协调度居于高位平稳的状态,表明自从2005年首次在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》提出全民科学素质行动计划以来,我国科普建设水平在这一时期平稳持续增长。据统计数据^{[15][16]}显示,2004~2016年间我国科普经费从不到40亿元增长到151.98亿元,增长率超过220%;与此同时,各类科普场所和科普设施也呈迅猛增长趋势,其中科技类博物馆的增长率超过300%。另一个显著变化是科普资源的信息化^{[15][16][17]},借助于互联网的发展,这一时期科学普及的时效性和覆盖面有了质的飞跃,至2016年政府财政投资建设的科普网站有近3000个,各类基于“互联

网+”的科普项目从中央-地方-社区各层级政府不断推出,创建了多样化的科普资源获取渠道,可见这一阶段我国科普建设和科普事业发展的成果显著。

相比之下,科普建设与科技创新之间的耦合协调度以及动态耦合协调度在2017~2018年间出现短暂波动。据《中国科技统计年鉴》数据显示,2017~2018年间我国科普专职人员数和兼职人员数、出版的科普图书种类、科技活动参加人数等均有小幅下降;科普经费投入方面,2017年和2018年投入经费分别为160亿和161亿,虽有增长,但相比于2016年之前,其增幅明显放缓。这是因为政府在2017~2018年间对科普事业的战略规划和方向的转变。一方面,为推动科普经费来源的多元化,政府开始逐步减少来自公共财政的科普经费拨款比例,并采取措施鼓励、吸纳、和拓展社会资本对科普事业的投资;另一方面,由于政府机构的改革和整合,科普人员队伍在这一时期经过了精简和优化^[18]。而科普类图书出版种类的减少则来源于互联网和科普自媒体,尤其是移动客户端媒体的冲击,反映了公众对于获取科技信息和学习科技知识渠道的变革式转变^{[18][19]}。由此可以解释这一时期耦合协调度和动态耦合协调度出现短暂波动的缘由。

3 总结和建议

总体来看,随着国内科普工作的强化以及科普投入的增加,我国科普事业2004年以来实现了快速发展,科普建设与科技创新之间的协调程度逐步提高,这对于提高我国公民科学素质,培养科技人才,从而进一步推进科技强国建设的意义重大。同时,也应认识到,由于我国原有科普基础薄弱,且我国人口众多,未来的科普建设和科普能力提高仍任重道远。据中国科普研究所2018年发布的《中国公民科学素质建设报告(2018)》^[15],2018年我国公民具备科学素质的比例为8.47%,而美国在2015年的这一数字就已达到28%,相比而言,我国的公民科学素养水平尚有较大提升空间。结合当前我国科普建设情况,本研究从以下3个方面提出建议。

一是建立更加完善的科普工作机制以及评估监测体系。实现科技创新的高质量发展要求科学普及在国家创新体系建设中发挥更大的作用,但目前我国科普建设与科技创新的发展仍呈现不平衡不协调的矛盾,科普建设在政策实践中的受到轻视的局面仍未扭转。对此,应当建立更加完善的科普工作机制,对未来科普事业发展进行整体规划和统筹落实,形成由各部门、各地方政府和基层组织密切协作的科普工作和科技服务体系。



表3 我国2004~2020年科普建设与科技创新耦合协调度*

年份	科普建设 综合值	科技创新 综合值	耦合度 C值	耦合协调度 D值	耦合协调 程度	科普 增长	创新 增长	动态耦合度 C值	动态耦合协调度 D值	耦合协调 程度
2004	0.623	0.186	0.920	0.123	严重失调	0.000	0.000	-	-	中度失调
2005	0.617	0.212	0.903	0.126	严重失调	-0.006	0.027	0.670	0.491	濒临失调
2006	0.742	0.250	0.693	0.338	轻度失调	0.126	0.038	0.667	0.574	勉强协调
2007	0.887	0.283	0.592	0.444	濒临失调	0.145	0.033	0.627	0.563	勉强协调
2008	0.996	0.380	0.659	0.562	勉强协调	0.109	0.097	0.889	0.713	中级协调
2009	0.895	0.442	0.798	0.555	勉强协调	-0.101	0.062	0.922	0.551	勉强协调
2010	0.988	0.521	0.791	0.634	初级协调	0.092	0.079	0.853	0.671	初级协调
2011	1.034	0.611	0.817	0.691	初级协调	0.046	0.090	0.902	0.674	初级协调
2012	0.956	0.753	0.920	0.704	中级协调	-0.078	0.143	0.999	0.687	初级协调
2013	0.986	0.837	0.928	0.743	中级协调	0.030	0.083	0.896	0.655	初级协调
2014	0.907	0.901	0.975	0.717	中级协调	-0.079	0.064	0.911	0.566	勉强协调
2015	0.870	1.009	0.996	0.717	中级协调	-0.037	0.108	0.969	0.666	初级协调
2016	1.065	1.109	0.952	0.849	良好协调	0.195	0.100	0.858	0.749	中级协调
2017	0.718	1.241	0.895	0.609	初级协调	-0.348	0.133	0.302	0.254	中度失调
2018	0.675	1.435	0.738	0.559	勉强协调	-0.042	0.194	0.999	0.764	中级协调
2019	0.723	1.622	0.842	0.666	初级协调	0.048	0.187	0.994	0.807	良好协调
2020	0.885	1.940	0.968	0.876	良好协调	0.161	0.318	0.999	0.979	优质协调

注:耦合协调等级按D值的大小每隔0.1个单位依次划分

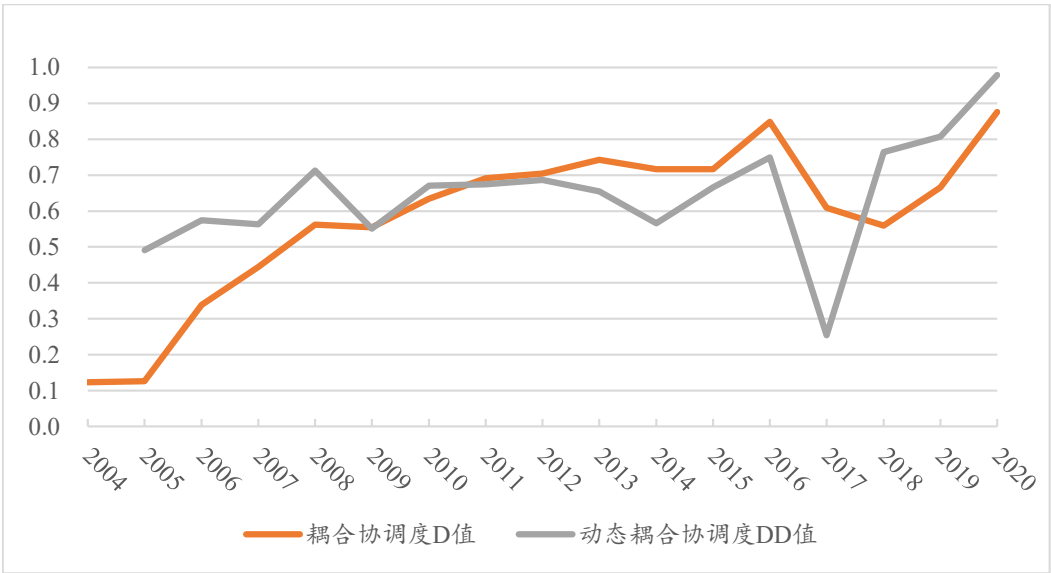


图1 2004~2020年科普建设与科技创新耦合协调度变化

进一步发挥科协的综合协调作用,全面推进我国科学素质建设和科普能力提高。此外,为保证科普工作的贯彻实施,应当建立起科学合理的科普工作评估体系,通过定期开展群众科学素养调查和科普建设水平监测,推动科普事业向更高标准发展。

二是广泛吸纳更多的社会资本和社会力量参与科普建设。科学普及的公益性质决定了其以政府为主体的建设方式,但同时也应当充分利用社会资源和社会力量,吸纳高校院所、企业、非营利组织、志愿者团体等更多的社会力量参与科普事业。从上述研究结果可以看

出,当前我国科普事业过度依赖政府经费拨款,高校院所拥有的科学仪器、科技场馆、教育基地等科普资源未实现最大化开放和利用,工厂和企业所拥有的工业遗产和闲置淘汰生产设施也未完全开发作为科普场馆;各类事业性单位、企业、民间社会组织、志愿者团体等社会力量参与科普事业的自发性和积极性还不足。对此,应当鼓励、支持和指导企业和各级科技类社会组织通过组建科普服务和宣传队伍、开发和利用现有或闲置的生产设施设备等方式加入国家科普建设事业,实现科技资源科普化,以构建更加多元、更加完善的科普体系。同时,推动高校、企业、社会组织建立起创新型科普人才培养机制,提升科技工作者、大学生等群体的科普宣讲能力,吸

纳越来越多的新鲜血液加入中国科普公益事业。

三是充分利用好新兴技术提升科普的生动性和便捷性。研究结果显示科普图书出版等传统方式受众的减少,因此,未来的科普建设应当以更加包容的态度,推进科普与AI人工智能、VR虚拟技术等新兴技术的深度融合,强化用户体验、情景模拟等理念,增加科普的生动性,推动科学普及方式和服务的创新升级^[20]。同时,为进一步提高公民科学素养,增加科普受众范围,应大胆尝试以短视频、科普电影和动漫、科学小故事等人民群众更加喜闻乐见的互联网新媒体方式传播基础科学知识,扩大基础科学常识的普及程度。

参考文献:

- [1] 李大光.中国公众科学素养研究20年[J].科技导报,2009,27(7):104-105.
- [2] 郑永和,杨宣洋,徐洪,等.“两翼理论”指导下科普事业发展路径的思考[J].科普研究,2022,17(1):13-18+32+100.
- [3] 徐冠华.中国科技发展的回顾和几点建议[J].中国科学院院刊,2019,34(10):1096-1103.
- [4] BODMER W. The Public Understanding of Science[R]. London: The Royal Society,1985.
- [5] IRWIN A, MICHAEL M. Science, Social Theory and Public Knowledge[M]. Pirai: McGraw-Hill Education,2003.
- [6] 李婷.地区科普能力指标体系的构建及评价研究[J].中国科技论坛,2011,183(7):12-17.
- [7] 李倩.科普服务能力提高区域创新能力了吗?——基于省级面板数据的实证研究[J].科普研究,2018,13(4):35-41+106.
- [8] 丁刚,陈超敏,林泽锋.省域科普能力建设与科技创新的耦合协同演化态势研究[J].合肥工业大学学报(社会科学版),2022,36(3):28-36.
- [9] 任嵘嵘,郑念,邢钢.科普与科技进步关联性研究[J].科研管理,2013,34(S1):290-295.
- [10] 任嵘嵘,郑念,赵萌.我国地区科普能力评价——基于熵权法-GEM[J].技术经济,2013,32(2):59-64.
- [11] 杨力,徐悦,朱俊奇.中国东部省份科技创新能力综合评价——基于TOPSIS-AISM模型[J].现代管理科学,2021(8):3-12.
- [12] 蔡晓琳,刘阳,黄灏然.珠三角城市科技创新能力评价[J].科技管理研究,2021,41(4):68-74.
- [13] 周棱楠,潘安,罗芳,等.川东北地区“人口-经济-空间”城市化耦合协调性研究[J/OL].西华师范大学学报(自然科学版):1-14[2023-08-28].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1699.N.20230304.1252.002.html>.
- [14] 孔雪松,谢世姣,朱思阳,等.湖北省人口-土地-产业城镇化的时空分异与动态耦合分析[J].经济地理,2019,39(4):93-100.
- [15] 中国公民科学素质建设报告(2018年)[R].北京:中国科普研究所,2018.
- [16] 王康友,颜实,郑念,等.中国国家科普能力发展报告(2006-2016)[R].北京:中国科普研究所,2016.
- [17] 任福君.我国科普40年[J].科学通报,2019,64(9):884-889.
- [18] 张蕾.解读最新全国科普统计数据[EB/OL].光明日报,https://news.gmw.cn/2019-12/25/content_33427388.htm,2019-12-25.
- [19] 互联网时代的科技传播[J].传媒,2022(24):6-7.
- [20] 杨菲,黄成昆,黄亚榕,等.中国科普教育基地空间格局及其形成机制[J].资源开发与市场,2023,39(4):479-486.

Coupling Relationship between Science Popularization Construction and Science and Technology Innovation Development in China

LUO Guifang¹, ZHANG Jingjing²

1. Sino-Danish College, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100090

2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100090

Abstract: Both scientific innovation and the popularization of science are important to promote innovation, and their coordinated development is key to achieving China's goal of building world-class sci-tech power. Aiming to investigate the coordinated status of China's science popularization construction and science and technology innovation development, this study adopts the entropy weight method to conduct an annual comprehensive evaluation of science popularization construction and science and technology innovation from 2004 to 2020, and then measures the degree of coupling and coordination between the two through the coupling degree calculation model. The results showed that with the Chinese government's boosted awareness, efforts and investment in science popularization, the coupling and coordination between the science popularization capacity and science and technology innovation in China has improved, despite mild fluctuations in 2017~2018 due to a temporary adjustment of science popularization development. Finally, this study proposes suggestions from the three aspects of establishing a more sophisticated mechanism and assessment system for science popularization, more widely absorbing social capital and social forces, and fully utilizing emerging technologies and diversified means.

Keywords: science popularization; science and technology innovation; coordinated development

(责任编辑:何岸波; 责任译审:毛子英 周阿剑)