

不确定性的科学普及与科技创新发展关联性分析

张越¹ 玄兆辉² 杨彩凤¹

(1. 湖南省科学技术信息研究所, 湖南长沙 410001;
2. 中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038)

摘要: 作为实现创新发展的两翼, 科学普及与科技创新的协同发展是完善国家自主创新体系的重要内容。为准确描述科学普及与科技创新发展之间非简单因果的不确定性关系, 本文引入集对分析思想, 构建了科学普及与科技创新发展相关性的指标体系和关联性分析模型, 提出了测度方法, 并对2008—2017年湖南省相关指标进行了实证分析。分析结果表明, 湖南省科学普及与科技创新发展之间的关联性明显, 但协调发展之间存在一定的不稳定性。最后对科学普及与科技创新的协同发展提出了建议。

关键词: 科学普及; 科技创新; 关联性; 湖南省; 集对分析; 不确定性

中图分类号: G3

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2020.01.010

Correlation Analysis on Science Popularization and Science and Technology Innovation of Hunan Province Based on Uncertainty

ZHANG Yue¹, XUAN Zhaohui², YANG Caifeng¹

(1. Hunan Provincial Institute of Science and Technology Information, Changsha 410001; 2. Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038)

Abstract: Synergetic development of science popularization and science and technology innovation is critical to the promotion of China's independent innovation system. In order to probe into the uncertain correlation of science popularization and science and technology innovation, this paper conducted set pair analysis method, building up an index system and a measurement method of the correlation between science popularization and science and technology innovation of Hunan province. Based on related index statistics, the paper conducted empirical analysis, making a conclusion that the correlation is obvious as well as unstable. Finally, we put forward some countermeasures and suggestions.

Keywords: science popularization, science and technology innovation, correlation, Hunan Province, set pair analysis, uncertain correlation

科技创新和科学普及是科技工作的两个重要方面。学术界对科学普及和科技创新之间的关系进行了探索性研究。相关的研究内容从宏观的

理论论述向微观的多角度、跨学科综合分析和实践探索、现状评价过渡^[1-6]。但是, 当前这些研究多基于系统和多因素简单关联的确定性前提假

作者简介: 张越(1982—), 女, 湖南省科学技术信息研究所中级经济师、讲师, 主要研究方向: 科技创新调查、科技数据统计与分析(通信作者); 玄兆辉(1977—), 男, 中国科学技术发展战略研究院研究员, 博士研究生, 主要研究方向: 科技统计、创新调查; 杨彩凤(1986—), 女, 湖南省科学技术信息研究所助理研究员, 主要研究方向: 科技创新调查、科技数据统计与分析。

基金项目: 湖南省技术创新引导计划-科普专项“湖南省科学普及与科技创新协同发展研究”(2017ZK3116)。

收稿日期: 2019年5月27日。

设,借助常规或模糊性分析方法,从不同层面对二者之间的关联性进行多视角的综合分析。由于科学普及与科技创新的发展目标是确定的,但二者之间在协同发展过程中存在不确定的复杂因素,这是因为科技创新本身就具有不确定性,对于创新的结果以及对科学普及的推动,甚至是科学普及反过来对科技创新的促进更具不确定性。因此,本文拟以不确定性为前提假设,引入集对分析方法,构建关联性分析模型,对科学普及与科技创新之间的关联性进行初步探讨,在对湖南省的相关指标进行实验分析的基础上提出对策建议。

1 关联性指标体系构建

考虑影响科学普及与科技创新二者协同发展的宏观和微观因素,结合数据可获取性、科学性、稳定性和平衡性,参考既有的研究成果^[6-12],分别从投入和产出两个角度构建科学普及与科技创新的相关度指标体系,形成科学普及能力和科技创新能力2个子系统。

对于科学普及能力的评价主要选取了7个指标。投入方面从人力、财力、物力的成本投入角度进行考量,通过科普人员、科普经费以及科普场地建设等4个指标进行衡量。产出方面着重从为公众需求提供服务的角度衡量,包括科普作品、科普传媒、科普活动3个方面。对于科技创新能力的评价也主要选取了7个指标。科技创新的人力、财力、物力的成本投入水平通过研发人员、研发经费以及研发资源等4个指标进行衡量。产出方面则侧重于科技创新活动开展的质量与成效,包括体现科技发展活跃程度的发明专利申请量、体现科技成果转化水平的技术市场合同成交额以及反映创新成果经济效益的企业新产品销售收入3个指标。构建的科学普及与科技创新相关度指标体系如表1所示。

2 特征指数评测

由于选取的指标均为正向指标,为反映动态

的发展进程,将报告期数值除以基期数值(上年数值)进行无量纲化处理,采用纵向指数计算指标特征指数:

$$S_n = X_{1n} / X_{0n} \quad (1)$$

在式(1)中,0表示基期,1表示报告期, n 表示评价指标序号, $n=1, 2, \dots, i$ (i 为科技创新评价指标个数)。 X_{0n} 为第 n 个评价指标的基期数值, X_{1n} 为这一评价指标的报告期数值, S_n 为第 n 个评价指标经无量纲化处理后的特征指数。当 $S_n=1$ 时,说明该指标近两年的发展进程不变;当 $S_n>1$ 时,说明发展进程加快;当 $S_n<1$ 时,说明发展进程减缓。根据对湖南省2008—2017年相关数据进行测算的结果可以看到, S 值大部分位于0.6~1.6之间。各指标特征值和及其等级分类标准结果见表2、表3。

3 集对分析与关联性测度

集对分析理论是我国学者赵克勤提出的一种不确定分析理论^[13]。所谓集对(Set Pair, SP),就是具有一定联系的两个集合所组成的对子,一般以 $H=(A, B)$ 表示。集对分析的基本思路是:在一定问题背景下,对一个集对对子的特征展开

表1 科学普及与科技创新相关度指标体系

目标层	准则层	指标层
科学普及能力	投入	中级职称以上或大学本科以上学历科普人员比例(%) X_1
		年度科普经费筹集额(万元) X_2
		科普场馆个数(个) X_3
		公共场所科普宣传设施个数(个) X_4
	产出	科普图书期刊出版种数(种) X_5
		发放科普读物和资料(份) X_6
		科普专题活动与实用技术培训次数(次) X_7
科技创新能力	投入	研发人员全时当量(万人年) X_8
		全社会研发经费投入(亿元) X_9
		高新技术企业个数(个) X_{10}
		研究机构个数(个) X_{11}
	产出	发明专利申请数(个) X_{12}
		技术市场合同成交额(万元) X_{13}
		企业新产品销售收入(亿元) X_{14}

数据来源:2009—2018年《中国科普统计》;2009—2018年《湖南省统计年鉴》《湖南省科技统计年鉴》。

表2 湖南省2009—2017年指标特征值

指标	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
S ₁	1.07	0.96	0.95	1.07	1.00	1.11	0.98	1.06	0.95
S ₂	1.69	0.76	1.19	1.21	1.02	1.01	0.98	1.22	1.00
S ₃	1.56	1.00	1.19	1.00	1.16	0.98	1.07	1.18	0.69
S ₄	0.83	1.13	0.83	1.72	1.21	0.73	1.14	1.59	2.88
S ₅	0.71	1.84	0.58	1.59	0.74	0.57	2.42	6.96	3.20
S ₆	1.09	1.29	0.96	0.95	1.39	0.95	0.99	0.87	1.04
S ₇	1.13	1.17	1.16	1.02	1.06	0.99	1.01	0.88	0.75
S ₈	1.27	1.14	1.18	1.17	1.03	1.04	1.07	1.04	1.10
S ₉	1.36	1.22	1.25	1.23	1.14	1.13	1.12	1.14	1.21
S ₁₀	1.17	1.01	1.23	1.20	1.09	1.13	1.16	1.07	1.21
S ₁₁	0.85	1.25	0.97	1.09	1.26	1.11	1.06	1.07	1.05
S ₁₂	0.83	1.46	1.36	1.14	1.20	1.21	1.35	1.31	1.23
S ₁₃	0.92	0.91	0.88	1.19	1.82	1.22	1.12	1.00	1.92
S ₁₄	1.55	1.40	1.51	1.27	1.20	1.10	1.16	1.10	1.06

表3 特征指数等级分类标准

等级S	评价标准	发展程度
1	1.6	很快
2	1.4	较快
3	1.2	快
4	1	适度
5	0.8	慢
6	0.6	较慢

分析，建立起这两个集合在指定问题背景下的同异反联系度数值 μ ，再在此基础上深入研究系统的有关问题。联系度 μ 是集对分析的一个基石，一般情况下的表达式是

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (2)$$

其中， S 表示集对中两个集合共同具有的特征数； P 表示集对中两个集合相互对立的特征数； F 表示集对中两个集合既不共同具有，又不互相对立的特征数； N 表示所论集对所具有的特征总数， $N = P + S + F$ 。

令 $\frac{S}{N} = a, \frac{F}{N} = b, \frac{P}{N} = c$ ，则式(2)可写成：

$$\mu = a + bi + cj \quad (3)$$

若不计各特征的权重， a, b, c 分别称为所论

集合在指定问题背景下的同一度、差异度、对立度； i 为差异度系数，规定在 $[-1, 1]$ 区间内视不同情况取值； j 为对立度系数，规定为 -1 。通过确定合理的 i 值计算出的 μ 值称为联系度数值，它是一个综合的定量指标，其形式含义与相关系数、隶属度和灰关联度类似。将 b 进一步扩展为 $b_i = b_1i_1 + b_2i_2 + \dots + b_ki_k$ ，可以得到多元联系度数值：

$$\mu = a + b_1i_1 + b_2i_2 + \dots + b_ki_k + cj \quad (4)$$

其中， b_1, b_2, \dots, b_k 称为差异度分量； i_1, i_2, \dots, i_k 称为差异不确定分量系数。

联系度数值 μ 的表达式不仅反映了集合A和B关系的整体架构，而且 a, b, c 反映了内部结构。突破了相关系数、模糊分析、灰色关联分析只衡量单一指标的分析模式，进一步明晰了复杂性和结构关系，完善了相关分析的传统框架。

根据以上集对分析理论，将科学普及与科技创新的发展程度作为具有一定联系的两个集合，建立这两个集合的多元同异反联系度数值 μ ，作为二者发展进程相关关系程度的衡量。先运用式(1)计算各个指标的发展进展程度测算特征值指数，按照如下六元联系度公式计算相关联系度数值 μ 。

$$\mu_n = \begin{cases} 1+0i_1+0i_2+0i_3+0i_4+0j, x_n \geq s_1 \\ \frac{x_n-s_2}{s_1-s_2} + \frac{s_1-x_n}{s_1-s_2} i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0i_4 + 0j, \\ s_2 \leq x_n < s_1 \\ 0 + \frac{x_n-s_3}{s_2-s_3} i_1 + \frac{s_2-x_n}{s_2-s_3} i_2 + 0i_3 + 0i_4 + 0j, \\ s_3 \leq x_n < s_2 \\ 0 + 0i_1 + \frac{x_n-s_4}{s_3-s_4} i_2 + \frac{s_3-x_n}{s_3-s_4} i_3 + 0i_4 + 0j, \\ s_4 \leq x_n < s_3 \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + \frac{x_n-s_5}{s_4-s_5} i_3 + \frac{s_4-x_n}{s_4-s_5} i_4 + 0j, \\ s_5 \leq x_n < s_4 \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + \frac{x_n-s_5}{s_4-s_5} i_3 + \frac{s_4-x_n}{s_4-s_5} i_4 + 0j, \\ s_5 \leq x_n < s_4 \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + \frac{x_n-s_5}{s_5-s_6} i_4 + \frac{s_4-x_n}{s_5-s_6} j, \\ s_6 \leq x_n < s_5 \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0i_4 + 1j, x_n < s_6 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $s_1 \geq s_2 \geq s_3 \geq s_4 \geq s_5 \geq s_6$ (表3), $n=1,2,\dots,14$ 。运用公式(5), 可依次计算出联系度数值 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{14}$, 得到14个指标的同一度 a , 差异度分量 b_1, b_2, b_3, b_4 , 和对立度 c , 根据公式(6)可计算出联系度数值 $\mu_{\text{总}}$ 。

$$\mu_{\text{总}} = W_n^T \times \begin{bmatrix} a_{n1} & b_{n1} & b_{n2} & b_{n3} & c_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ j \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据评价等级将指标差异度 $[-1, 1]$ 区间进行划分, 内部4个分界点分别为0.8, 0.5, 0.1, -0.5, 分别对应 i_1, i_2, i_3, i_4 。又 $j=-1$, 将 i 和 j 分别带入公式(6), 可得到联系度数值 $\mu_{\text{总}}$ 。同理, 可计算科学普及与科技创新投入之间、产出之间的联系度数值 $\mu_{\text{投入}}$ 和 $\mu_{\text{产出}}$ 。

对联系度数值的区间范围 $[-1, 1]$ 进行划分并标定等级, 将上述计算出的联系度数值结果与表4相对应, 可得出联系度的高低等级, 即相关性的等级, 用此相关性等级代表关联程度。

表4 联系度数值范围与相关性等级划分

联系度数值范围	相关性等级
$[-1, -0.5)$	显著不相关
$[-0.5, -0.3)$	较显著不相关
$[-0.3, 0)$	弱不相关
0	不确定
$(0, 0.3]$	弱相关
$(0.3, 0.5]$	较显著相关
$(0.5, 1]$	显著相关

4 实证分析

根据以上方法, 对2009—2017年湖南省科学普及和科技新闻的关联性进行实证分析, 首先针对科学普及与科技创新协同发展之间的关联性(表5), 包括总体关联性(图1)、投入关联性、产出关联性(图2)3个方面进行分析, 再针对科学普及、科技创新两系统内部自身的投入、产出之间的关联性(表6、图3)进行分析, 结果如下。

(1) 科学普及与科技创新协同发展的总体关联性明显, 二者协同发展程度在逐年平稳提高。从表5和图1看, 2009—2017年间湖南省科学普及与科技创新发展水平之间的总体关联性明显, U总联系度数值均处于相关等级区间。但联系度数值存在波动性, 说明科学普及与科技创新的协调发展还存在一定的不稳定性, 最小值0.10弱相关出现于2014年, 最大值0.44较显著相关出现于2012年, 而2015年以后, 联系度数值维持在0.30以上, 处于较显著相关区间, 波动逐渐趋于平缓, 可见二者的协同发展程度在逐年平稳提高。

从投入方面指标层数据来看, 湖南省科普创作人员占科普专职人员比例接近5%, 低于全国平均水平, 而全省研究人员占研发人员比重45%则高于全国平均水平, 说明全省科普原创设计人才与研发人才的投入不均衡; 湖南省科普经费筹集额中将近70%来源于政府资金, 而研发经费投入来源中, 企业资金占比达到86%, 政府资金占比仅为12%, 说明科技创新研发活动的开展已形成企业为创新主体的市场化自发行行为, 而科学普

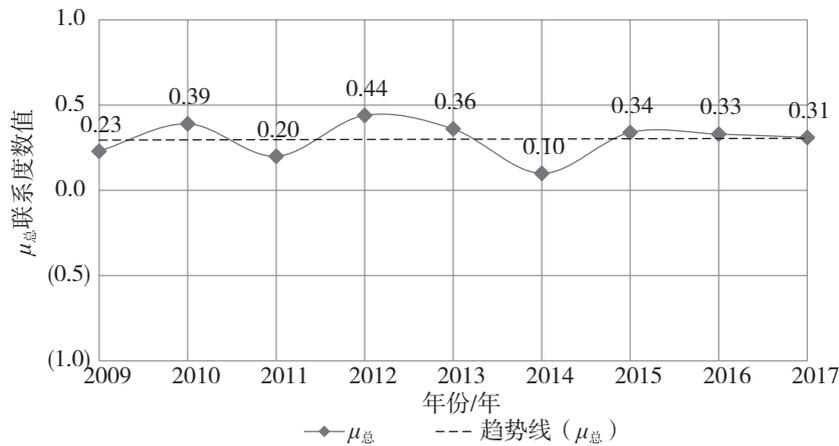


图1 $\mu_{总}$ 联系度数值变化趋势图

及活动开展则还是以政府力量为主导，市场化的社会投入力量比较薄弱；2017年湖南省拥有科技馆11个，科学技术博物馆21个，平均228万人拥有一个科普场馆，比全国平均水平低了一倍。与此同时，高新技术企业增速接近30%超过全国平均水平，说明全省科普基础设施的建设与发展水平远不能满足公众对科学文化普及的需求。

从产出方面指标层数据来看，科普宣传设施数量和科普图书期刊出版种类两指标发展情况波动最为明显，科普产品的有效供给稳定性不足，科普活动的推广和宣传缺乏信息化的手段和方式，科普产品的精准推送服务落后。而对于一些科研成果，由于专业性造成科普转化程度较低，科研活动的公共参与度也较低。

(2) 科学普及与科技创新协同发展的投入

产出协调度不均，投入协同发展的稳定程度较优于产出。从投入产出角度来看（表5和图2），2009—2017年两系统无论在投入还是在产出方面， $\mu_{投入}$ 、 $\mu_{产出}$ 联系度数值均处于相关等级区间，联系度数值均呈现一定的关联性。但波动幅度明

表5 $\mu_{总}$ 、 $\mu_{投入}$ 、 $\mu_{产出}$ 联系度数值及相关性等级

年份	$\mu_{总}$		$\mu_{投入}$		$\mu_{产出}$	
2009	0.23	弱相关	0.40	较显著相关	0.05	弱相关
2010	0.39	较显著相关	0.18	弱相关	0.59	显著相关
2011	0.20	弱相关	0.26	弱相关	0.14	弱相关
2012	0.44	较显著相关	0.45	较显著相关	0.42	较显著相关
2013	0.36	较显著相关	0.32	较显著相关	0.39	较显著相关
2014	0.10	弱相关	0.13	弱相关	0.06	弱相关
2015	0.34	较显著相关	0.24	弱相关	0.45	较显著相关
2016	0.33	较显著相关	0.41	较显著相关	0.25	弱相关
2017	0.31	较显著相关	0.23	弱相关	0.39	显著相关

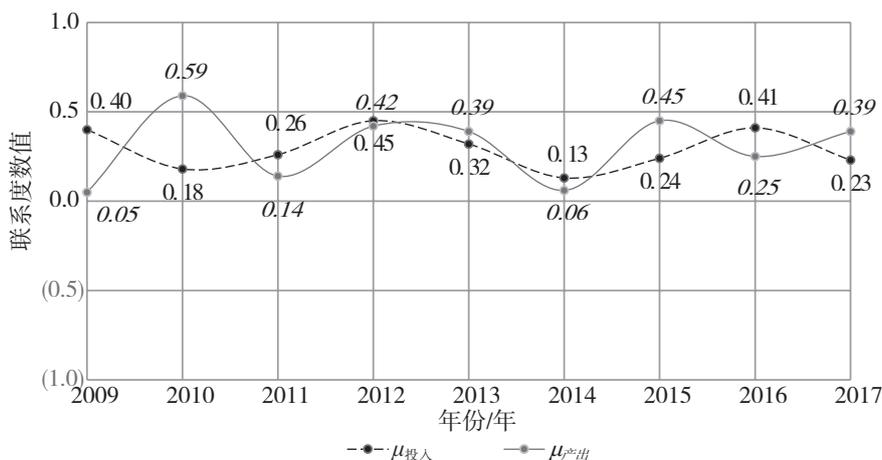


图2 $\mu_{投入}$ 、 $\mu_{产出}$ 联系度数值变化趋势图

显，表明湖南省科学普及与科技创新的投入、产出的关联程度未形成同步、稳定的发展态势，二者的协同发展在投入、产出领域尚未形成成熟、稳固的增长路径和传导机制，容易受到不稳定因素的干扰。

此外， $\mu_{投入}$ 联系度数值浮动范围为 0.13 ~ 0.45，而 $\mu_{产出}$ 联系度数值浮动范围为 0.05 ~ 0.59， $\mu_{投入}$ 联系度数值波动区间稍小于 $\mu_{产出}$ 联系度数值的波动区间，可见科学普及与科技创新在投入方面的协同发展的稳定程度较优于产出，体现于二者对于人力、财力、物力的投入均对社会科学技术进步和发展有一定的促进作用，而科学普及产出不论是在科普传媒、科普产品还是科普活动方面，与科技创新活动产出之间的融

合度存在一定差距，科技创新产品在研发阶段和应用阶段缺少更多的公众参与，二者在投入、产出方面的互促互进互补潜力还有待进一步激发。

(3) 科技创新发展的投入产出协调发展的稳定程度优于科学普及。从两系统内部的发展协调性来看，科技创新发展的投入产出协调性优于科学普及。从表 6 和图 3 来看，科技创新的投入与产出之间的联系度数值普遍高于科学普及联系度数值，相关性基本维持在较显著相关水平。而科学普及的投入与产出之间联系度数值波动幅度明显，稳定性较差，尤其是 2011 年和 2014 年，联系度数值为负，呈现弱不相关特征。说明科技创新的整体发展水平高于科学普及，且科技创新的投入产出协调发展的稳定程度也优于科学普及，

表 6 $\mu_{科学普及}$ 、 $\mu_{科技创新}$ 两个子系统联系度数值及相关性等级

年份/年	$\mu_{科学普及}$		$\mu_{科技创新}$	
	联系度数值	相关性等级	联系度数值	相关性等级
2009	0.21	弱相关	0.24	弱相关
2010	0.33	较显著相关	0.45	较显著相关
2011	-0.03	弱不相关	0.43	较显著相关
2012	0.41	较显著相关	0.46	较显著相关
2013	0.21	弱相关	0.51	显著相关
2014	-0.19	弱不相关	0.38	较显著相关
2015	0.29	弱相关	0.40	较显著相关
2016	0.35	较显著相关	0.31	较显著相关
2017	0.13	弱相关	0.49	较显著相关

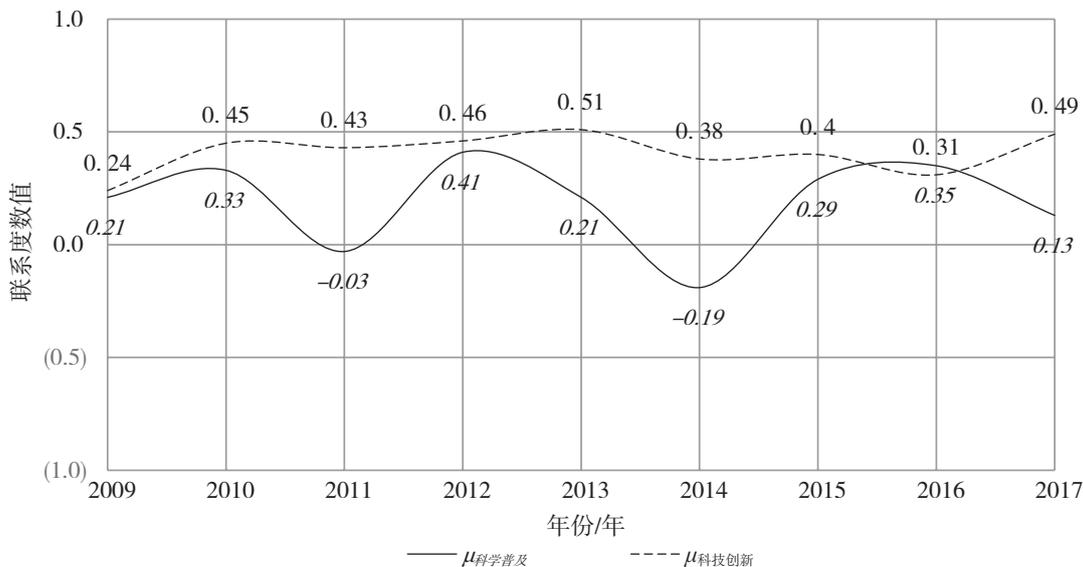


图 3 科学普及、科技创新子系统联系度数值变化趋势图

科学普及的投入产出协调发展易受到外部因素的干扰从而影响系统整体的良性运行,稳定、完善的运行机制有待进一步改进。

5 结语与对策建议

本文从科学普及和科技创新的指标体系入手,引入集对分析方法,构建关联性分析模型,并对湖南省近10年发展数据进行了实证分析。从评价思路与方法来看,应用集对分析方法可以对科学普及与科技创新的关联性特征进行分析,对于不确定性关系的两个集合具有较好的描述,研究结论较符合湖南省两者协同发展的现状。从实证分析结果来看,湖南省科学普及与科技创新发展之间有一定的协调促进发展关系,但两者在协同发展过程中相互促进的稳定程度不足。尤其是在投入、产出阶段的协同发展水平,容易受到不确定因素的干扰,且科学普及自身的投入与产出之间的协调发展水平更急需提升。可见,各相关要素之间是否形成良性联动是两者协同发展的基础,而来源于政府、社会、个体等外界因素的有效协作是确保两者稳定发展的保障。因此,一要重视基础研究在科技创新与科学普及中的作用。对于不能带来经济效益的基础研究,应更广泛地向大众普及其科学意识与科学精神,使基础研究的开展更具科学理性,从长远发展的角度建立两者稳固发展的纽带。二要推进科普产业化发展。将科普产业作为一项新兴产业来发展。通过市场机制带动投入产出良性循环,通过市场需求带动产品的研发与创新,为公共提供更精准的科普服务,更好地提升科普事业发展水平。三要有效推进外部因素的协作效应。主要来源于政府、社会、个体3个主要外界因素发挥稳定的保障作用。为此,提出以下建议。

一是加强政府作为,若要实现“两翼”并驾齐驱,则要对“两翼”同等对待,不可厚此薄彼,政府应充分引导调度各主体的积极性,发挥各自优势,避免资源浪费。从人力、物力、财力上面加大有效支持力度,同时引导构建多元化的投入产出机制,加强各主体之间的协作与沟通。对于反科学伦理与虚假知识的行为予以监督和制止。

就湖南省而言,应进一步优化科普人才队伍结构,吸纳科技工作者、科学家到科普志愿者队伍。加大政府对公益性科普设施建设和运行经费的投入,制定有关鼓励社会力量参与科普事业发展的政策和措施,完善以政府为主体的投入机制。

二是加强社会作为,发挥企业、高校、科研院所等社会主体在科学普及与科技创新协同发展中发挥的作用。企业即要通过科技创新推动自身持续发展,同时通过科普企业文化,传播科技信息,提升企业自身形象与核心竞争力。高校、科研院所应承担起教学、科研、社会服务等方面的重要使命。就湖南省而言,应加强科普基础设施与高校、科研机构科技资源之间的联系,充分利用潜在的科技资源,挖掘实验室和企业生产公益设施等潜在能力,形成互通有无、互利共赢的资源共享机制。

三是加强个体作为,提升科学家与科技工作者的全面发展意识,将投身科学思想精神的倡导与弘扬、科学知识方法的传播与讲授作为科技工作者的责任,协同科普人才与科技创新人才发展,使公众理解科学、掌握和运用科学技术,真正把创新驱动战略转化成全面自觉的社会实践。就湖南省而言,应进一步优化科普人才队伍结构,吸纳科技工作者、科学家到科普志愿者队伍。

6 局限与展望

首先,从定性上看,科学普及带来的公众科学素养的提升具有滞后效应,本文只考虑了同年份两者发展的关联性,对于科学普及在今后发挥效应的研究存在不足。其次,本文首次引用集对分析思想,从投入产出角度,对科学普及与科技创新两者的关联性进行研究,对于定性因素及其他外界因素的影响效应有所缺失,尤其是在体现两者有机结合的新模式、新业态的创新要素影响,还需要进一步开展研究与探索。

参考文献

- [1] 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.

(下转第76页)

科研创新。随着新时代的到来,改进和完善我国杰出科学家行政任职的结构分布,引导院士适当兼职,或更偏向于学术职务兼职,持续推动学术组织及团体发展,依然是我国院士群体与经济社会交互影响关系需要研究的重要现实问题。

参考文献

- [1] 中国现代科学精英[D].合肥:中国科学技术大学,2007.
- [2] 詹正茂,舒志彪.大众传媒对院士科学传播行为的影响分析[J].华中科技大学学报(社会科学版),2008,22(5):63-67.
- [3] 徐飞,汪士.杰出科学家行政任职对科研创新的影响:以诺贝尔奖获得者与中国科学院院士比较为例[J].科学学研究,2010,28(7):981-985.
- [4] 杨琳.中国高校院士师承效应研究[D].长沙:中南大学,2014.
- [5] 赵德国,蔡言厚,王凌峰,等.关于完善我国院士制度的若干建议[J].中国高等教育评估,2008(2):24-29.
- [6] 王春法.“采集工程”的缘起、进展与意义[J].中国科技史杂志,2011,32(2):139-148.
- [7] 武虹,齐硕,杨宝龙.老科学家学术成长采集工程信息化建设概述[J].今日科苑,2017(9):89-90.
- [8] 中国科学院[EB/OL].[2018-04-24].<http://www.cas.cn>.
- [9] 中国工程院[EB/OL].[2018-03-13].<http://www.cae.cn>.
- [10] 卢嘉锡.院士思维.卷一[M].合肥:安徽教育出版社,1998.
- [11] 宋健.“两弹一星”元勋传[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [12] 中科院学部联合办公室.中国科学院院士自述[M].上海:上海教育出版社,1996.
- [13] 佚名.中国工程院院士指南简介[J].北京:中国医院药学杂志,2000,20(9):575-575.
- [14] 佚名.中国科学技术专家传略[M].北京:中国科学技术出版社,1996.
- [15] 徐飞,陈仕伟.中国杰出科学家年龄管理策略的新思考:从近十年(2001—2010)中国科学院新增院士与诺贝尔奖获得者年龄比较的反差谈起[J].科学学研究,2012,30(7):976-982.
- [16] 徐飞,卜晓勇.中国科学院院士特征状况的计量分析[J].自然辩证法研究,2006,22(3):68-74.
- [17] 杨丽,徐飞.中国科学院女性院士特征状况计量分析[J].科学学研究,2008,26(5):942-947.
- [18] 徐飞,杨丽.女性科学家科研产出之谜及原因初探[J].科学学研究,2009,27(11):1627-1633.
- [19] 段伟文.对技术化科学的哲学思考[J].哲学研究,2007(3):76-85.
- [20] 刘勇卫,李真真,陈红娟.中国科学院院士结构与社会作用的分析及建议[J].中国科学院院刊,2005,20(3):179-184.
- [21] 陶爱民.中国工程院院士群体状况研究[D].合肥:中国科学技术大学,2009.
- [22] 亨利 N 波拉克.不确定的科学与不确定的世界[M].上海:上海世纪教育出版社,2005.

(上接第68页)

- [2] 易永胜,程萍.企业科技创新和科普关系实证分析:以深圳市为例[J].科普研究,2013(6):12-19.
- [3] 魏爱莲.科技创新理念感召下的科学普及再探讨[J].科技经济导刊,2016(15):20-21,9.
- [4] 彭金林.创新型城市科普模式的研究[D].广西:广西大学,2013.
- [5] 王玲玉.区域科技创新与科学普及的耦合性分析[D].安徽:安徽大学,2016.
- [6] 郝帅.我国科普功能实现的要素研究[D].云南:云南师范大学,2017.
- [7] 佟贺丰,刘润生,张泽玉.地区科普力度评价指标体系构建与分析[J].中国软科学,2008(12):54-60.
- [8] 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.
- [9] 张立军,张潇,陈菲菲.基于分形模型的区域科普能力评价与分析[J].科技管理研究,2015,35(2):44-48.
- [10] 王玲玉.区域科技创新与科学普及的耦合性分析[D].安徽:安徽大学,2016.
- [11] 李铭洋.基于集对分析理论的评标模型及算法研究[D].辽宁:沈阳工业大学,2009.
- [12] 易永胜,程萍.企业科技创新和科普关系实证分析:以深圳市为例[J].科普研究,2013(6):12-19.
- [13] 赵克勤.集对分析及其初步应用[J].大自然探索,1994(1):67-72.