

开放科学浪潮中的科学家科普与认知多样性

——基于知识社区主题互动的实证分析

王宇笛 朱 晶

(华东师范大学哲学系, 上海 200241)

[摘要] 开放科学作为一种由技术赋能的协作文化, 致力于促进资源和知识全过程开放共享, 以加速科研并增进公众理解科学。这与科普目标密切交织, 为改变科学家科普方式带来了新机遇。本文以认知多样性为分析框架, 采用书目耦合方法构建知识社区, 结合 Python 等数据分析技术和案例挖掘, 对比常规科研组织形式和开放科学浪潮中的科学家科普特征, 进而分析认知层面的多样性如何助力科普实践。研究发现, 常规科研组织形式下, 科普主题主要为气候和环境, 科学家多通过社交媒体、学校教育和参与政策制定来开展科普。开放科学浪潮中, 科学家通过开放平台赋能的协作式科普科研项目驱动多主体参与实践, 主题拓展到健康、生态、地质等多个领域。科学家、公众、企业等多个认知主体在协作性科普实践中整合认知资源, 贡献出各自的认知能力, 获得认知受益。这种新方式不仅可以分担科学家科普的认知成本、促进科学发现, 还有可能提升科学家的科普能力与意愿。

[关键词] 科学家参与科普 开放科学 认知多样性 公民科学 科普能力

[中图分类号] N4; G315 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2025.04.003

科学家发挥自身优势和专长, 积极参与和支持科普活动, 对于促进科技创新和科研成果转化、提高科学教育质量, 具有重要意义。然而, 科学家科普面临着知行反差和意愿不足^[1]、参与数量和能力有待提升、科普政策支持不足^[2]等挑战。近年来, 全球开放科学运动兴起, 开放科学作为一种由技术赋能的协作文化, 致力于促进科学界和公众对数据、信息和知识的全过程开放共享, 加速科

学研究和促进公众对科学的理解。可见, 开放科学与科普目标密切交织。我国从 2003 年开始发展开放科学, 支持全球发展、基于国家科技强国战略并响应“开放科学国际合作倡议”^[3]。开放科学的期刊、数据和软硬件资源等对公众开放, 促进科学研究过程透明和知识共享, 为科学家科普带来了新机遇。已有研究在评述开放科学的重要性时, 提出开放科学将改变科学传播方式^[4], 有潜力增强科

收稿日期: 2025-04-01

基金项目: 中国科协研究生科普能力提升项目(KXYJS2024014); 上海市科委科技创新行动计划专项“科创中心的科技传播系统化理论及上海模式研究”(24DZ2301600)。

作者简介: 王宇笛, 华东师范大学哲学系博士生, 研究方向: 科学实践哲学, E-mail: 52272903017@stu.ecnu.edu.cn。朱晶为通讯作者, E-mail: jzhu@philo.ecnu.edu.cn。

学界和公众之间的信任关系^[5]；科学家利用开放数据和软件等基础设施开展的协作式科普科研项目，支持公众参与科学研究，有助于提升科研效率和影响力^[6]。但是，少有研究专门讨论开放科学给科学家参与科普带来了哪些变化，这些变化在提升科学家科普意愿与科普能力上有哪些潜力。

认知多样性 (epistemic diversity) 这一概念已被科学哲学学者用于分析科学合作与创新^[7]、开放科学中的科研实践^[8]。借鉴此概念，有助于识别开放科学中引入的多样化认知因素，分析认知层面的多样性如何助力科普实践。因此，本文尝试以认知多样性为分析框架，通过数据分析技术和案例挖掘，对比常规科研组织形式与开放科学浪潮中的科学家科普，聚焦科普方式带来的认知多样性，分析开放科学中科学家科普的新特征，进而为科学家与多主体协同参与科普实践、反哺科技创新提供启示。

本文的研究核心问题为：基于认知多样性视角，开放科学是否以及如何促进科学家参与科普。围绕此研究问题，本文将它细化为3个具体的子问题：(1) 相比常规科研组织形式，科学家在开放科学浪潮下开展科普的主题和方式有哪些变化；(2) 开放科学中科学家参与科普实践时丰富了哪些认知多样性；(3) 这些认知多样性如何促进科学家和其他认知群体参与科学实践并实现认知受益 (epistemic benefits)。

1 研究设计

1.1 研究方法

本文采用文献分析结合案例挖掘的方法，对比常规科研组织形式和开放科学浪潮中的科学家科普。首先，利用书目耦合网络 (Bibliographic Coupling Network) 方法构建知识社区，该方法根据文献间的引用关系计算

文献相似度，建立文档间联系，呈现研究领域内的知识社区结构和研究主题。通过知识社区内外部的连接权重，即文献共引数据，可以呈现不同知识社区的内部结构和知识社区内外的知识连接信息，适用于比较和剖析常规科学组织形式下与开放科学浪潮中科学家科普发生的变化。

其次，本文注意到，通过文献得到的数据结果不是一手的调研或案例，但是，这些内容直接反映的是研究者对科学家科普的关注点，能够呈现科普的主题和方式。相对访谈、案例调研和科学家的口述，对大样本文献展开的分析，可以在一定程度上避免访谈带来的主观性、案例调研带来的个体选择性。相比小样本的调研，大样本的文献能刻画科学家科普的整体特征。

为了补充文献所提供的科学家科普信息的不足，除了数据分析外，本文对文献中具有代表性的案例进行了拓展和挖掘，如科普项目网站、报道和科普项目衍生的科普论文，拓展分析科学家科普的具体内容。

在数据处理与分析技术方面，本文使用 Python 中的 Louvain 包检测知识社区，利用 Python 处理各知识社区内文献的高频关键词和频次、知识社区内外部的文献连接权重，分析知识社区的主题和互动，并通过 Gephi 实现可视化。

1.2 样本选取

研究样本选用 Web of Science 核心数据库中的文献。文献检索时间从 1986 年 1 月 1 日 (数据库中首次出现科学家科普文献的年份) 截至 2025 年 1 月 31 日。

根据维森特-赛斯 (R.Vicente-Saez) 等学者对开放科学的定义^[9]及研究^[10]可知，开放科学不仅涉及对自身 (open science) 的研究，还包括开放获取 (open access)、开放数据 (open data)、开放代码 (open code)、公民

科学 (citizen science)、开放同行评审 (open peer review) 以及预注册 (preregistration) 等主要场景。经初步筛选发现, 与本研究有关的文献主要集中在开放科学、开放获取、开放数据以及公民科学 4 个领域。

常规科研组织形式下, 科学家科普文献关键词的选取包含两类: (1) 狭义的科普相关词: 科学传播 (science communication)、科学普及 (science popularization)、公众理解科学 (public understanding of science); (2) 广义的科普相关词: 科学教育 (science education)、公众参与 (public engagement, public participation)、外展活动 (outreach), 聚焦上述研究中科学家 (scientist) 的参与, 剔除开放科学相关检索词: “open science” “open access” “citizen science”。因为在初步检索中未发现与 “open data” 相关的文献, 所以本文未剔除该检索词。检索式如下:

TS= (“science communicat*” or “science populariz*” or “public understanding of science” or “science educat*” or “public engag*” or outreach or “public participa*”) AND scientist* NOT (“open science” or “open access” or “citizen science”)

研究依据检索式搜索到了 3 217 篇文献, 通过人工筛选, 保留了与科学家科普实践直接相关的文献。例如, 科学家利用社交媒体^[11]或通过与教师合作^[12]的形式开展科普。这些文献共 2 096 篇, 组成了常规科研组织形式下的科学家科普文献集 (数据集 1)。

考虑到开放科学运动的兴起没有明确的标志性时间点, 也并不是要取代常规科研组织形式。开放科学目前仍属于新兴运动, 与常规科研组织形式并存。因此, 本文没有采用时间切片的方式划分文献数据, 而是对比常规科研组织形式和开放科学浪潮中的科学家科普。检索式是开放科学相关检索词和科

学家两个数据集的交集, 检索出的文献包含数据集 1 中剔除的与开放科学相关的文献, 检索式如下:

TS= (“open science” or “open access” or “open data” or “citizen science”) AND scientist*

依照检索式, 研究初步检索到 3 418 篇文献, 通过人工筛选出与开放科学、科学家科普直接相关的文献。例如, 科学家开展的蚊虫监测^[13]、植物入侵^[14]、山体滑坡监测^[15]等多项科普实践。这些文献共 2 974 篇, 它们构成了开放科学浪潮中的科学家科普文献集 (数据集 2)。通过对比数据集 1 和数据集 2 的文献, 以期在一定程度上抵消文献分析带来的文献作者研究偏好, 呈现出科学家科普趋势。

1.3 关键概念

(1) 知识社区。知识社区是依据文献之间的共引关系而形成的文献集合, 当两篇文献共同引用同一篇文献时, 会产生连接。共同引用的文献数量越多, 连接越紧密, 文献探讨的话题或使用的知识越相近, 相似性越高, 形成了知识社区。

(2) 知识社区主题。表示同一知识社区内文献聚焦的研究主题。

(3) 知识社区内外部互动。互动是指两篇文献共同引用的参考文献和数量, 共同引用的参考文献数量越多, 它们的连接越强, 共享的知识或观点越多, 文献相似性越高。知识社区内部互动指知识社区内的文献互动, 外部互动指的是跨知识社区的文献互动。

(4) 知识社区内节点数量。该节点数量指的是知识社区内的文献数量。

(5) 平均度数。知识社区内的文献与其他文献的平均连接强度, 用来衡量知识社区内文献的连接紧密度。数值越大, 表明知识社区内部互动越频繁, 反之, 则互动较少。

(6) 孤立指数。孤立指数是知识社区内

文献连接强度与知识社区外文献连接强度的比值，表示知识社区之间的交流情况。孤立指数越高，知识社区与外部互动越少，反映该知识社区越注重内部知识的互动交流。

2 常规科研组织形式下的科学家科普

2.1 媒体平台和学校教育为科普主要方式

本文使用 Louvain 包对数据集 1 进行社区检测，结果显示，数据集 1 中包含 15 个知识社区，其中有 4 个规模较大。为了确保小规模知识社区中新颖且重要内容不被忽视，研究对剩余知识社区进行逐一筛查，确认这些知识社区内并未包含关键信息，最终确定 4 个知识社区进行分析。为了准确界定每个知识社区的主题，研究又统计了各知识社区内部文献的标题、作者关键词、附加关键词及摘要中的关键词及其出现的频次。鉴于检索关键词在各个知识社区中频繁出现，为了更精确地反映社区讨论的具体内容，剔除了检索关键词。最后，根据筛选后的关键词，结合文本阅读，识别出每个知识社区的主题，如表 1 所示。

表 1 常规科研组织形式下科学家科普知识社区主题

知识社区	知识社区主题	关键词 (频次)
知识社区 1	媒体与受众	媒体 (760)、学生 (292)、观众 (268)、活动 (235)、培训 (232)、知识 (218)、社区 (200)、影响 (198)
知识社区 2	学校教育与项目实践	学生 (2 418)、教师 (759)、学校 (742)、知识 (498)、项目 (485)、实践 (428)、模型 (389)、探究 (377)
知识社区 3	气候环境与公众感知	气候 (768)、媒体 (292)、感知 (267)、信任 (252)、知识 (234)、信息 (232)、风险 (209)、环境 (203)
知识社区 4	科学知识 with 公共政策	知识 (535)、政策 (487)、环境 (326)、管理 (326)、社区 (280)、技术 (271)、保护 (263)、实践 (253)

2.1.1 知识社区 1: 媒体与受众

“媒体”首先是沟通科学家与公众的桥梁，其次是以“学生”和“观众”为代表的受众。结合文献阅读，科学家使用的媒体主要为推特 (Twitter)、脸书 (Facebook)、博客等社交网络平台，通过此类平台发布推文、演讲或科普视频，与公众分享知识和观点。“知识”和“社区”等关键词表明，科学家利

用媒体平台普及科学知识时形成在线讨论社区，或发布前沿科学研究成果，提高研究结果的可见度；或与其他科学家建立专业沟通网络知识社区，向公众传递一般科学知识，纠正错误科学信息^[16]。科普受众为两类典型的认知群体，一类是与发文科学家同领域或相关领域的其他科学家，另一类为政府、媒体、公众及其他相关对象^[17]。

2.1.2 知识社区 2: 学校教育与项目实践

除了媒体外，以“学生”“教师”“学校”等关键词为代表的学校教育，也是科学家科普的主要方式。“项目”“实践”“探究”等关键词说明，科学家和学校合作多以探究型项目展开。结合文献阅读，“探究”和“模型”共同出现，有两个显著的结合点。第一，科学教育中开放和使用新的教学模式，如协作探究学习模型^[18]。第二，通过探究来培养学生利用模型进行推理的能力，培养计算思维^[19]。学校教育中，科学家科普的“知识”有别于知识社区 1 中的知识，它不仅关注学生对科学知识的掌握，还强调像真实的科学

家一样进行推理，通过观察并基于自己获得的证据给出解释。例如，来自加拿大、美国、荷兰、挪威、西班牙和德国的科学家，

与来自不同学习环境的研究人员和设计者展开合作，通过设计计算机学习环境、开发协作探究学习模型来辅助学校教学，学生除了在计算机学习环境中模拟实验和数据搜集，还能模拟不同的建模方式。学生反馈也表明，课程显著地改变了他们对计算机科学的看法，从关注计算机作为工具转变为关注问题解决和建模^[20]。

2.1.3 知识社区 3: 气候环境与公众感知

科学家科普中探讨最多的主题是“气候”和“环境”问题，“媒体”在气候科普等问题中扮演着重要角色，公众通过媒体获取气候或者环境的有关“知识”和“信息”。结合文献阅读并以数据文献为线索进行拓展，除了通过媒介的方式外，一些科学家也会采取与他人探讨气候变化、参与活动等方式向公众传播气候变化。他们尝试和公众探讨与风险有关的话题，如气候变化风险、微塑料风险等，并尝试传播科学的不确定性。公众的个人“感知”和“信任”在知识社区中常被提及，科学知识和信息的来源和对科学家个人的信任影响科学家的科普效果。

2.1.4 知识社区 4: 科学知识 with 公共政策

“知识”“政策”和“管理”等关键词表明，科学家科普还与公共政策制定和管理决策有关。科学家作为公共参与者，促进前沿科学衔接“环境”和生物“保护”等社会问题。面对社会—生态系统的复杂性，科学家参与公共政策时的交流目标有两类。第一类是政策制定者、管理者以及与政策相关的群体，科学家与他们共同参与政策制定，在此过程中实现知识的共享与交流。第二类是未参加政策制定的更大范围的公众。例如，保护遗传学在物种管理领域的应用，科学家通过组织专题研讨会或线下活动、与管理者等开展联合研究项目、与从业人员合作开发标准化工作流程、建立沟通社群、出版教科书等方式向有关部门、从业人员和公众介绍保护遗传学知识^[21]。

2.2 学校教育、媒体和政策参与

为了探讨科学家科普方式的实践，本文使用 Python 统计和计算数据集 1 中知识社区内节点数量、文献间连接权重、平均度数和孤立指数，利用 Gephi 绘制知识社区间的互

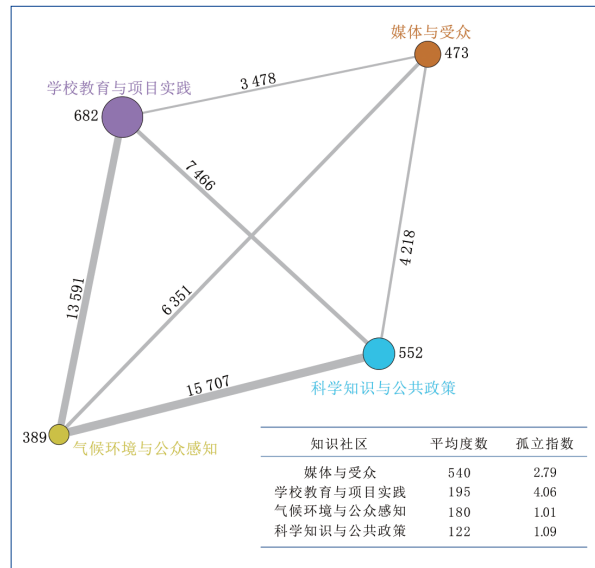


图 1 常规科研组织形式下科学家科普知识社区互动

动，结合平均度数和孤立指数，呈现知识社区内外部互动，结果如图 1 所示。

科学家科普的主要方式为媒体、学校教育和公共政策参与，但这 3 种科普方式却呈现出不同的效果。文献研究对科学家参与学校教育的讨论最多（节点数量 682），其次是科学家参与公共政策（节点数量 552）和借用媒体进行科普（节点数量 473）。结合文献间连接权重、平均度数和孤立指数可以发现，科学家参与学校教育虽然获得了较多的关注，但是该知识社区的孤立指数最高（4.06），说明此类科普方式较为封闭，与其他类别的互动较少。科学家参与公共政策进行科普，孤立指数最低（1.09），平均度数最低（122）；采用媒体进行科普的平均度数最高（540），孤立指数（2.79）介于学校教育和公共政策之间。这说明，相比借用媒体科普，科学家参与公共政策的方式，更容易促进知识在不同群体间（学生、公众、政策制定者）流动，但是这种科普方式形成的知识交流却较为松散，反而是采用媒体进行科普的孤立指数居中，表明这种方式不仅能沟通不同群体之间的交流，还能形成集中的研究与讨论。

3 开放科学浪潮中的科学家科普新趋势

3.1 科普科研项目与资源开放驱动的公众参与

与数据集 1 知识社区主题和关键词的数据处理方式相同，数据集 2 经 Louvain 包检测后，呈现出 17 个知识社区，其中 4 个知识社区规模较大。研究对小知识社区逐一辨析和筛选后，选定 4 个较大的知识社区展开分析。数据集 2 的知识社区主题如表 2 所示。

表 2 开放科学浪潮中科学家科普知识社区主题

知识社区	知识社区主题	关键词 (频次)
知识社区 1	认知主体参与 科普科研项目	项目 (903)、社区 (769)、参与 (654)、公众 (578)、环境 (576)、知识 (561)、参与者 (497)、健康 (455)
知识社区 2	物种保护与公众监测	物种 (1 127)、项目 (643)、志愿者 (640)、保护 (535)、监测 (519)、质量 (515)、社区 (479)、公众 (405)
知识社区 3	信息和知识开放 可获得	期刊 (693)、信息 (590)、模型 (626)、知识 (559)、出版 (532)、方法 (491)、系统 (484)、实践 (478)
知识社区 4	生态学研究 模型应用	物种 (1 396)、保护 (577)、模型 (574)、生物多样性 (571)、空间 (403)、变化 (379)、地区 (377)、分配 (369)

3.1.1 知识社区 1: 认知主体参与科普科研项目

科学家多利用开放科学中的协作式科普科研“项目”开展科普，通过项目引入“社区”成员、“公众”等多样的认知主体参与其中。“健康”领域的科普受到科学家的关注。结合文献阅读，虽然“环境”依然是科普的典型主题，但区别于常规科研组织形式下的科普方式，在开放科学中，科学家负责设计和指导项目中与科学相关的内容，公众负责收集数据。协作式参与平台的使用，使认知主体由科学家变为科学家与公众、社区成员等多个认知主体共同参与。项目实施过程中，科学家不仅关注科学知识，还注重对科学研究过程的传播，如研究取样。进一步拓展数据集集中的英国蝴蝶监测项目 (eButterfly) 案例可以发现，认知主体包含科学家、管理者、政策制定者、教育工作者和公众等多类社会角色^[22]。这类项目主要依托公民科学开展，它将公众参与视为研究的重要环节，促进了多个认知主体的大范围参与，扩大了科学家

科普的受众群体，为部分科学家所采用。

3.1.2 知识社区 2: 物种保护与公众监测

科学家采用开放科学开展的科普，将科普主题由气候或环境问题，延伸到“物种”保护、水科学等多个科普主题。通过文献阅读，“项目”“志愿者”“保护”“监测”等关键词说明，科学家利用公民科学项目开展物种保护相关的科普科研项目。在科学家的指导下，

公众或志愿者除了从事物种和水质监测等工作，还负责将记录的数据上传至项目数据库。由于具备与科学家不同的知识与能力，例如，对物

种或环境的熟悉程度、观察与感知能力的差异，公众在不同地区和时间的观测记录更具有广度和连续性，丰富了知识来源的多样性，多样性的观测数据为科普主题延伸提供了基础。例如，对数据集文献中的植物入侵案例进行拓展，由于公众的参与为美国得克萨斯州的入侵植物 (如碱草) 调查提供了持续、大范围的监测数据，促使此类科普科研项目的主题在植物入侵领域得到了拓展^[14]。

3.1.3 知识社区 3: 信息和知识开放可获得

开放可获得的信息和知识，推动了协作式科普科研项目的开展。结合文献，“期刊”中的科研成果和科研过程中的“信息”和“知识”等海量认知资源，对科学家和公众更加透明、可获得。结合文献可知，开放获取期刊和开放数据的推行，使科学家和公众有了更多获取信息的渠道，如数据、研究模型、分析方法等，这些信息可以在开放数据库或专门网站查询。除了实验室数据外，有些数据库还汇集了多个来源的数据，例如，

涵盖美国东北部 17 个州的湖泊水质数据库 LAGOS-NE，其数据由科学家、政府、非营利组织和公众共同收集^[23]。信息来源的多样性与知识获取方式的多样性，为科学家开展科普提供更多可能性的同时，还促进了科学家将多来源的数据用于科研，提高科研结果的可靠性，双向推动科研与科普目标的实现。

3.1.4 知识社区 4：生态研究和模型应用

“物种”“保护”“变化”“生物多样性”“模型”等关键词表明，科学家的科普主题还拓展到了生态研究等领域，并在协作式科普科研项目中广泛使用模型。进一步阅读文献，针对特定空间中的物种保护和生物多样性项目，科学家主要将模型用在 3 个方面。第一，与常规科研相同，科学家利用模型开展科学研究，对海量数据进行处理、分析和建模，比如物种分布模型。第二，公民科学引入的庞大数据需要审核与评估，因此模型被用于评估公众提供的数据质量，提高研究结果的准确性。例如，在生态研究中，科学家使用模型识别公众提供数据的误差，确定可接受的错误分类率，提供数据补救策略使数据符合使用规范^[24]。第三，公民科学中的多个认知主体使得科学家需要设计开放的协作模型，实现不同认知水平的参与者在项目中协同分工，提高合作效率。

3.2 基于信息知识和模型应用的科普科研项目

为了探讨开放科学浪潮中科学家科普方式的实践效果，本文使用 Python 统计和计算各知识社区内节点数量、文献间连接权重、平均度数、孤立指数。采用 Gephi 绘图，结合平均度数和孤立指数呈现各知识社区的互动，结果如图 2 所示。

开放科学浪潮中，科学家的科普方式主要为协作式科普科研项目。信息和知识开放，以及模型应用为项目开展提供支持，但二者

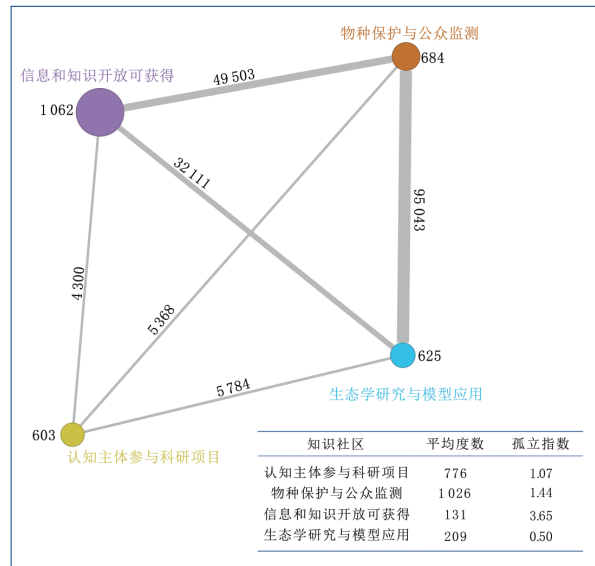


图 2 开放科学浪潮中科学家科普知识社区互动

实践效果存在差异。相较模型应用（节点数量 625），研究较多地关注信息和知识开放获取（节点数量 1062）。然而，信息和知识开放获取的平均度数最低（131）、孤立指数最高（3.65），说明信息和知识开放这类主题虽然获得了科学家和研究者的广泛关注，但在科普实践中的共享度却较低。多样化的认知资源、平台和认知工具虽然为科学家科普提供了潜在的可能性，但并未被充分利用。反观生态学研究与模型应用，该知识社区的孤立指数最低（0.50），相对内部互动，其更偏重与其他知识社区交流。这说明在项目中，科学家较多地利用了模型。在科普主题上，物种保护与公众监测知识社区内外部的知识交流紧密度均较高，相比其他领域，物种保护和环境科学类项目能更好地衔接科学和社会问题，将科学家、公众、政策制定者、企业、学生等多样认知群体纳入交流网络。

通过对比，在科普主题上，环境、健康和生态始终是科学家科普的核心主题。但是，科学家利用开放科学倡导的多种科研平台、开源软件和数据库资源开放共享，推动了传统的环境科普主题拓展到与生态学相关的一

系列研究领域，如物种保护、生物多样性等。在科普方式上，不同于媒体、学校教育和公共政策参与等科普方式，科学家在开放科学中多采用协作式科普科研项目，他们采用这类项目扩大了科普参与者的范围，如公众、企业等多认知主体，一定程度上实现了科普与科研目标的结合。

3.3 多个认知主体协同参与、资源整合与认知受益

既然新的科普方式扩大了参与者的范围，也扩大了科学家参与科普的范围与主题，那么，这些科普新形式丰富了哪些认知多样性？这些认知多样性如何促进科学家和参与者在认知上的受益？为了回答上述问题，本文对数据集 2 中的典型案例展开了分析。

如表 3 所示，4 个科普案例分布在海洋科学、大气科学、地质学和生物科学，交叉延伸到生态学、环境科学、气候科学、地质学、科学传播以及教育等多个领域。科学家在科普过程中同时推进科研，他们采用的协作式科研科普形式为项目推进引入多样化的认知

主体：科学家、公众、青少年、非营利组织、政府、企业等，各认知主体为推进项目贡献认知能力。科学家负责项目设计和指导，使实践过程符合科学认知规范；开发、引入平台、数据库、手机组件、应用程序或基于人工智能识别工具。例如，在大气气溶胶测绘项目中，科学家开发的手机组件 iSPEX，可以让公众将手机变成光谱偏振仪^[25]；鸟类观测项目中，科学家研发的 Merlin 识别工具，结合机器学习分析技术，可以协助公众识别鸟类，提升识别效率^[26]。公众在项目中承担观测、收集、记录数据工作，由于他们与科学家的差异化认知能力，可以在研究中贡献地方性知识。例如，山体滑坡监测项目，自启动以来，已经超越了单一地区，研究覆盖五大洲在内的 37 个国家，公众提供了丰富的地域性滑坡记录和地质环境信息^[15]。又如，鸟类观测项目中，公众基于直觉的识别能力、经验的判断技巧，促进了鸟类物种的新发现。

政府、非营利组织、企业参与为项目带来了多样的价值目标和认知资源。海洋生物

观测项目中，政府解决现实问题的目标、非营利组织的公益目标、企业的市场目标与科普和科研目标交织。在认知资源上，政府支持参与环境的营造，组织项目成果录入数据集；非营利组织负责项目管理和人员招募^[27]；企业提供开发工具和科研辅助设施支持，媒体开发科普宣传与成

表 3 开放科学浪潮中科学家科普实践与认知受益

项目	海洋生物观测 (UrbamarBio)	大气气溶胶测绘 (iSPEX)	山体滑坡监测 (COOLR)	鸟类观测 (eBird)
目标	生物多样性与海洋生态	气溶胶时空分布	滑坡数据与灾害模型	全球鸟类物种多样性
目标	促进公众对海洋、生态、大气、气候、地质、生物等领域的理解			
认知主体	科学家 / 公众 / 学生 / 非营利组织 / 政府 / 企业 / 媒体	科学家 / 公众	科学家 / 公众 / 学生 / 媒体	科学家 / 公众 / 学生 / 非营利组织 / 政府 / 企业 / 媒体
认知资源 / 工具	线上平台 / 数据库	数据库 / 手机组件 / 应用程序	线上平台 / 数据库 / 应用程序	线上平台 / 数据库 / 人工智能应用程序
认知资源 / 能力	1. 科学家：设计、指导研究 / 开发平台、数据库、应用程序等 / 为政策制定提供科学依据 2. 公众 / 学生：地方性知识、默会知识 3. 政府 / 非营利组织 / 企业 / 媒体：资源整合 / 招募并维持参与者的动机 / 仪器设备 / 成果展示平台			
认知受益	1. 科学家：新的科学发现、科普技能、理解政策制定时的整合性视角、与多主体合作 2. 公众 / 学生：科学素质、基于证据的理性判断能力 3. 政府：科学和政策结合、更合理的政策制定、提升管理策略的有效性 4. 非营利组织 / 企业 / 媒体：理解复杂的科学议题、开发产品、提升科普技能			

果展示平台，激发参与者的兴趣与动力^[28]。

在科普实践过程中，不同的认知主体通过协作互动实现认知受益。科学家通过不同时空分布特征的数据推进科学研究，并可能因公众的偶然发现带来启发，如海洋生物观测项目中新发现的鱼类物种。通过协作式参与项目，提高了科学家的科普技能，突破了传统的知识讲授，让不同类型的参与者能够理解复杂、真实的科学研究过程，培育良好的科学文化，吸引更多的组织和个人参与科普。对于公众或学生而言，通过参与科研实践，除了在知识上受益，还提升了观察、基于证据的解释与论证等科学能力。政府在项目实施中整合了科学家的知识与理解，结合科学与政策目标，促进政策制定的合理性，提升治理能力，解决与科学有关的社会现实问题。非营利组织、企业通过与科学家协作，更加理解复杂的科学议题、科研成果转化为应用的复杂性，并且基于协作平台衍生出科普和科学教育产品，推动科普产业化。社交媒体的作用，从作为科学家进行科普的工具，扩展为吸引和维持参与者科学兴趣与动力的共同主体。

4 结语

开放科学与科普目标交织，其作为一种由技术赋能的协作文化，通过数据和研究过程开放协作，引入多样认知因素，为科学家科普研究主题和开展方式带来变化。科学家科普的开展反过来又促进了开放科学理念的推行，如开放数据与开放平台。

数据和案例分析表明，常规科研组织形式中，科学家主要通过媒体平台、学校教育、制定公共政策来参与科普，气候和环境领域的科普议题受到了研究者的关注。科学家参与的学校教育获得了较多的关注，但是，与其他主体在认知上的互动少，相对孤立。相

比之下，通过参与公共政策和借助媒体开展的科普，可以促进多主体的互动交流，借助媒体科普时产生的内部认知互动最多。

开放科学浪潮中，科学家通过设计协作式科普科研项目，利用开放平台实现科学信息监测、数据记录、处理数据、建立和优化模型、整合科学问题与社会现实问题，丰富了参与主体和信息知识的来源。公众、政府、非营利组织、企业、媒体等多个认知主体参与到科普实践过程中。科普实践的主题从环境和气候，拓展到健康、生态、海洋、地质、物种、大气、水资源等多个领域。开放的科学知识、信息和模型有益于科普科研项目的开展，但需要进一步开发多样的认知资源和平台。多样化的认知主体在协作性科普实践中，整合认知资源，贡献出各自的认知能力，获得认知受益。

开放科学为科学家科普遇到的意愿与动力不足问题提供了一种可能的解决方案。相对常规科研组织形式下的科普，协作参与式的科普与科研的目标虽然仍存在差异，但却能在一定程度上实现结合。科研与科普目标的结合，不仅可以通过多主体参与来分担科学家科普的认知成本，通过认知资源的整合来促进科学发现，还可以在这个过程中提高科学家的科普能力，反过来提升科普意愿。我国已经有科学家科普与学校教育紧密结合的多年基础，也出现了一些具有示范效应的公民科学项目，如“貉口普查”“大城小虫”。这些科普基础与我国正在推动的开放科学结合，不仅有助于学校教育与协作参与式科普方式的紧密互动，还有助于纳入更多的认知主体，推动科普高质量发展。

值得注意的是，本文从认知多样性出发，考虑公众、企业、媒体等其他主体的认知贡献，为分析科学家科普提供了一种补充性研究视角。然而，本文主要根据对文献和

案例的研究，开放科学浪潮下科学家科普实践具体取得了哪些效果，还需要更加深入的实证研究。与此同时，开放科学中的科普实践在丰富了认知主体多样性后，会引发哪些认知上的冲突？如何应对不同来源和质量

的公民科学数据在整合时出现的标准化难题？参与者的科研过程如果标准化、模板化，会不会减少认知多样性？对这些问题的进一步研究，将有助于更好地推行这类科学家科普的新方式。

参考文献

- [1] Chen A, Zhang X, Jin J. The Sagan Effect and Scientists' Public Outreach Participation in China: Multilayered Roles of Social Norms and Rewards[J]. *Science Communication*, 2023, 45(1): 12–38.
- [2] 王大鹏, 黄荣丽, 陈玲. 新时代科学家参与科普的现状与路径思考 [J]. *中国科学院院刊*, 2024, 39(11): 1994–2004.
- [3] 杨卫, 黄金霞. 开放科学的趋势与影响: 三道阳光、三个转变、四重挑战 [J]. *科学通报*, 2025, 70(10): 1434–1439.
- [4] Ramachandran R, Bugbee K, Murphy K. From Open Data to Open Science[J]. *Earth and Space Science*, 2021, 8(5): e2020EA001562.
- [5] Grand A, Wilkinson C, Bultitude K, et al. Open Science: A New “Trust Technology” ?[J]. *Science Communication*, 2012, 34(5): 679–689.
- [6] Grand A, Wilkinson C, Bultitude K, et al. Mapping the Hinterland: Data Issues in Open Science[J]. *Public Understanding of Science*, 2016, 25(1): 88–103.
- [7] Weisberg M, Muldoon R. Epistemic Landscapes and the Division of Cognitive Labor[J]. *Philosophy of Science*, 2009, 76(2): 225–252.
- [8] Leonelli S. Open Science and Epistemic Diversity: Friends or Foes?[J]. *Philosophy of Science*, 2022, 89(5): 991–1001.
- [9] Vicente-Saez R, Martinez-Fuentes C. Open Science Now: A Systematic Literature Review for an Integrated Definition[J]. *Journal of Business Research*, 2018, 88: 428–436.
- [10] Ross-Hellauer T, Reichmann S, Cole N L, et al. Dynamics of Cumulative Advantage and Threats to Equity in Open Science: A Scoping Review[J]. *Royal Society Open Science*, 2022, 9(1): 211032.
- [11] Collins K, Shiffman D, Rock J. How Are Scientists Using Social Media in the Workplace?[J]. *PloS ONE*, 2016, 11(10): e0162680.
- [12] Stroupe D, Caballero M D, White P. Fostering Students' Epistemic Agency Through the Co-Configuration of Moth Research[J]. *Science Education*, 2018, 102(6): 1176–1200.
- [13] Kampen H, Medlock J M, Vaux A G C, et al. Approaches to Passive Mosquito Surveillance in the EU[J]. *Parasites & Vectors*, 2015, 8(1): 9.
- [14] Gallo T, Waitt D. Creating a Successful Citizen Science Model to Detect and Report Invasive Species[J]. *BioScience*, 2011, 61(6): 459–465.
- [15] Juang C S, Stanley T A, Kirschbaum D B. Using Citizen Science to Expand the Global Map of Landslides: Introducing the Cooperative Open Online Landslide Repository (COOLR) [J]. *PloS ONE*, 2019, 14(7): e0218657.
- [16] Rose K M, Markowitz E M, Brossard D. Scientists' Incentives and Attitudes Toward Public Communication[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(3): 1274–1276.
- [17] Jünger J, Fähnrich B. Does Really No One Care? Analyzing the Public Engagement of Communication Scientists on Twitter[J]. *New Media & Society*, 2020, 22(3): 387–408.
- [18] Bell T, Urhahne D, Schanze S, et al. Collaborative Inquiry Learning: Models, Tools, and Challenges[J]. *International Journal of Science Education*, 2010, 32(3): 349–377.
- [19] Osborne J. The 21st Century Challenge for Science Education: Assessing Scientific Reasoning[J]. *Thinking Skills and Creativity*, 2013, 10: 265–279.
- [20] Rubinstein A, Chor B. Computational Thinking in Life Science Education[J]. *PLoS Computational Biology*, 2014, 10(11): e1003897.
- [21] Holderegger R, Balkenhol N, Bolliger J, et al. Conservation Genetics: Linking Science with Practice[J]. *Molecular Ecology*, 2019, 28: 3848–3856.
- [22] Prudic K L, McFarland K P, Oliver J C, et al. eButterfly: Leveraging Massive Online Citizen Science for Butterfly Conservation[J]. *Insects*, 2017, 8(2): 53.

(下转第 65 页)

high vs. low) × 4 (simulated role: no role simulation vs. journalist vs. scientist vs. ordinary netizen) between-subjects experimental design. Through an independently developed AI dialogue platform based on large language models, we collected and analyzed self-reported and online interaction data from 547 Chinese participants to explore the complex mechanisms of uncertainty communication in human-computer interaction contexts. The research results reveal a phenomenon of significant theoretical importance: the high uncertainty expression driven by artificial intelligence has produced a significant dual effect on the audience. Specifically, at the cognitive evaluation level, highly uncertain statements significantly reduced the audience's trust in information content and information sources, and at the same time showed a clear negative bias in the risk-benefit perception dimension, that is, significantly enhanced the audience's risk perception and correspondingly weakened their cognitive evaluation of the benefits of related technologies. However, at the human-computer interaction behavior level, the dialogue length and number of dialogue turns between the audience and the large language model under high uncertainty conditions both showed a significant increasing trend, reflecting a stronger information-seeking motivation and more active exploratory behavior tendencies compared to low uncertainty conditions. This finding indicates that uncertainty in human-computer interaction communication contexts simultaneously activates two relatively independent psychological processing processes: the cognitive evaluation path (leading to negative evaluation) and the behavioral regulation path (promoting active participation). In addition, the role simulation of large language models had no significant effect on trust and risk/benefit perception, but had a significant effect on interaction behavior, indicating that the audience's evaluation of AI-generated content is more based on content characteristics than on role labels. The findings of this study not only enrich the applicability of uncertainty communication theory in the era of artificial intelligence, but also provide important theoretical guidance and practical insights for optimizing science communication strategies.

Keywords: artificial intelligence; uncertainty; large language models; science communication; human-computer interaction

CLC Numbers: N4; G315 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2025.04.002

Scientists' Participation in Science Popularization and Epistemic Diversity in the Wave of Open Science: An Empirical Analysis of Theme-Based Interaction in Knowledge Communities

Wang Yudi Zhu Jing

(Department of Philosophy, East China Normal University, Shanghai 200241)

Abstract: As a collaborative culture enabled by technology, open science is committed to promoting the open sharing of resources and knowledge throughout the entire research process. It accelerates scientific research and enhances public understanding of science. Open science is closely intertwined with the goals of science popularization, and offers new opportunities to transform the way that scientists engage in science popularization. Taking epistemic diversity as an analytical framework, this paper uses bibliographic coupling to map knowledge communities, combining data analysis techniques such as Python and case mining, compares the characteristics of scientists' popularization under traditional

scientific research organization and in the wave of open science, and analyzes how epistemic diversity contributes to the science popularization. This study found that under a traditional scientific research organization, the main science popularization topics are climate and environment. Scientists conduct science popularization through social media, school education, and participation in policy-making. In the wave of open science, scientists leverage collaborative science research and science popularization projects, empowered by open platforms, to bring about multi-stakeholder participatory practices. The topics are expanded to multiple fields such as health, ecology, and geology. Scientists, the public, and enterprises integrate epistemic resources in collaborative science popularization, contribute their epistemic abilities, and gain epistemic benefits. This new approach can not only share the epistemic costs in scientists' popularization and promote scientific discoveries, but also promote scientists' ability and willingness.

Keywords: scientists' participation in science popularization; open science; epistemic diversity; citizen science; science popularization ability

CLC Numbers: N4; G315 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2025.04.003

Research on Synergistic Mechanism between Science Popularization and Scientific and Technological Innovation for Innovative Development

Wang Zhifang Zhang Lijie

(China Research Institute for Science Popularization, Beijing 100081)

Abstract: Science popularization and scientific and technological innovation are the two wings for realizing innovative development. Given the country's high attention to both in the context of national innovative development and the continuous advancement of innovation practices, the synergistic development of these two wings has gradually become a widely concerned topic. Policy guidance is an important guarantee for promoting the synergy between science popularization and scientific and technological innovation and serving innovative development. From the perspective of two-way empowerment, science popularization is the basic work for realizing innovative development, and it plays a promoting role in advancing scientific and technological innovation in aspects such as cultivating innovative culture and scientific thinking, and facilitating the transformation of scientific and technological achievements. As a strategic support for improving social productivity, scientific and technological innovation drives the advancement of science popularization to higher levels and broader domains through innovative concepts, achievements, and technologies, playing an indispensable role.

Keywords: innovative development; science popularization; scientific and technological innovation; synergistic development

CLC Numbers: N4 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2025.04.004