

扩展适应引发创新研究现状与趋势

——基于VOSviewer的可视化分析

朱亚婕

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年1月8日; 录用日期: 2023年1月28日; 发布日期: 2023年2月8日

摘要

通过系统梳理扩展适应引发创新的研究概况, 加快探索其他适合我国创新实践的理论体系。以2004年1月1日~2021年12月31日WOS数据库核心收录的148篇扩展适应引发创新为主体的文献数据为研究对象, 运用VOSviewer软件, 采用知识图谱与聚类分析方法, 对国际扩展适应引发创新研究进行了期刊、作者、国家、机构、文献的共被引和关键词贡献分析, 明晰扩展适应引发创新的演变机理并把握其过程特点与发展规律, 得到如下结论: 1) 从研究现状来看, 扩展适应引发创新的发展领域聚集在创新管理、生物医药等领域, 扩展适应引发创新相关研究作者、所属机构多集中于美、英、法等国家, 所属期刊多集中于综合性期刊; 2) 从研究趋势来看, 现阶段扩展适应引发创新研究已拓展到扩展适应引发创新过程与机理研究。

关键词

扩展适应, 创新, 可视化分析, 研究现状

Current Situation and Trend of Research on Expanding Adaptation to Initiate Innovation

—Visual Analysis Based on VOSviewer

Yajie Zhu

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jan. 8th, 2023; accepted: Jan. 28th, 2023; published: Feb. 8th, 2023

Abstract

This paper will systematically sort out the research overview of innovation triggered by exapta-

tion, and accelerate the exploration of other theoretical systems suitable for China's innovation practice. This paper focuses on 148 literature data on innovation triggered by exaptation, which were collected in the core of WOS database from January 1, 2004 to December 31, 2021. Using VOSviewer software, and using knowledge mapping and cluster analysis methods, this paper analyzes the co-citation and keyword contribution of journals, authors, countries, institutions, and literatures on international innovation triggered by exaptation, clarifies the evolution mechanism of innovation triggered by exaptation and grasp its process characteristics and development laws, and draws the following conclusions: 1) From the perspective of research status, the development fields of innovation triggered by exaptation are concentrated on innovation management, biomedicine and other fields, the research authors and affiliated institutions related to innovation triggered by exaptation are mostly concentrated in the United States, Britain, France and other countries, and the affiliated journals are mostly concentrated in comprehensive journals; 2) From the perspective of research trends, at this stage, the research on innovation triggered by exaptation has expanded to the research on the process and mechanism of innovation triggered by exaptation.

Keywords

Exaptation, Innovation, Visual Analysis, Research Status

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

国家十四五规划提出要“坚持创新驱动发展,全面塑造发展新优势”、“坚定不移贯彻创新理念”,由此可见,现阶段创新能力已然成为引领国家高质量、突破性发展的关键支撑,并且国家科技创新发展对创新方式提出了更高的要求。扩展适应为创新发展提供了有别于一般创新思维的“逆向路径”,扩展适应引发的创新[1]由于发生过程呈现逆向性,且具有较大偶然性,故鲜被提及。但因其结果往往具有行业技术颠覆性,引发产品技术或性能的巨大变革,由此可见,扩展适应引发创新具有重大的现实意义。

扩展适应的研究始于20世纪80年代,Gould & Vrba基于达尔文的进化生物学理论,首次提出扩展适应这一概念,并将“意外发现”定义为扩展适应产生的基本条件[2]。2000年,Mokyr将扩展适应由进化生物学引入管理学中,并将其定义为“某种技术在另一领域内意外使用后获得了成功”[3],是激发现有功能潜力以执行新功能的主动性选择行为[4],是拥有子过程的阶段性进化发展过程。Andriani (2014)等人基于模块化视角根据扩展适应的程度将其划分为适应性创新(无扩展适应)、内部扩展适应、外部扩展适应及完全扩展适应四类[5]。国内关于扩展适应的研究多停留在医药化学领域,管理学领域多涉及扩展适应的起源发展,基于创新管理部分涉及较少,主要被认定为推动现有技术既定功能的扩大化应用,其关键是“偶然发现”[6]。任声策(2019)基于前人研究,认为扩展适应是等待问题的答案,完成逆向创新的方法,由此提出扩展适应是“一个意外的发现可以帮助解决当时看起来‘不现实’的问题”[7]。目前,国内外关于扩展适应引发创新的主流观点认为扩展适应是发展创新的先决条件,是由新功能触发的适应性阶段,通常会引起适应性技术的市场做出反应,并由此导致反应的自我强化并呈现雪崩态势[8][9][10],从而引发行业创新。本文借鉴Mokyr等前人对扩展适应相关理论研究成果,认为扩展适应是创新的“逆过程”,通过寻找问题适配答案,需要具备“识别新现象并加以利用”的能力。多领域多部门之间的信息交互对称是实现技术、功能扩展的关键,其核心是原有功能基础上的意外新发现得以利用。

扩展适应为引发科学未知新功能提供新途径[11]。Arthur 曾将创新发明分需求驱动技术创新和创新技术寻找需求两大类[12]，扩展适应引发的创新则属后者。扩展适应为行业战略制定提供新工具——影子选项[13]，帮助其使用现有技术构建生态位，实现“功能转移”和“意外发现”两大核心功能[6]，用于对科学新发现的维护、激活和情景化[11]，为引发技术创新提供条件。同时，扩展适应是从新现象出发设想可能的解决问题的新思路[12]，其逆向性可为当下潜在技术发展提供指向，触发逆向创新，引领新行业发展。扩展适应注重对现有技术新功能的发掘，识别确认新功能以实现技术转移，触发新兴行业，辅助企业触发新功能并及时发现远方机会，为企业创新发展提供新路径。由于扩展适应是对创新过程的逆向思维，讨论“现有结果可以解决什么样的问题”[14]，是逆向创新的新方法[6]，因此，扩展适应的发生需要一个开放式创新模型，在新功能未知情况下识别未预期用途，扩大发明者可获得的认知资源，增加发现效用的可能性[15]引发创新的颠覆。Clemons 认为实现扩展适应引发创新的关键是跨越科学想法和原型之间的“死亡之谷”[16]。由于扩展适应引发的科学发现具有异步性和历时性[11]，但往往先于创新发生，因此及时把握扩展适应带来的潜在能力是实现创新的关键一步。

综上所述，目前关于扩展适应与创新关系的研究多集中于扩展适应基本原理和概念界定等理论研究，没有对研究现状及趋势进行整体把握。基于此，本文以 VOS 软件为研究工具，知识图谱和聚类分析为研究方法，以 2005 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日 Web of Science 数据库收录的 148 篇扩展适应引发创新主题的文章数据为研究对象，分析扩展适应与创新关系研究的期刊、作者、国别等共被引分析以及关键词共性分析，基于此研究现阶段扩展适应引发创新的研究热点与趋势，以期丰富我国创新管理理论。

2. 扩展适应引发创新知识图谱分析

本研究利用 VOS 可视化软件，以科学引文数据库(Web of Science)核心合集为检索源，按自定义检索式 TS = (exaptation and innovation)在限定年份(2005 年 01 月 01 日~2021 年 12 月 31 日)、限定语言(English)的状况下，同时采用人工识别法，在阅读相关文献的基础上删除明显不符合研究主题或重复的文献，最终得到有效文献 146 篇(见图 1)。将上述文献以“全记录与引用的参考文献”为记录内容，纯文本格式进

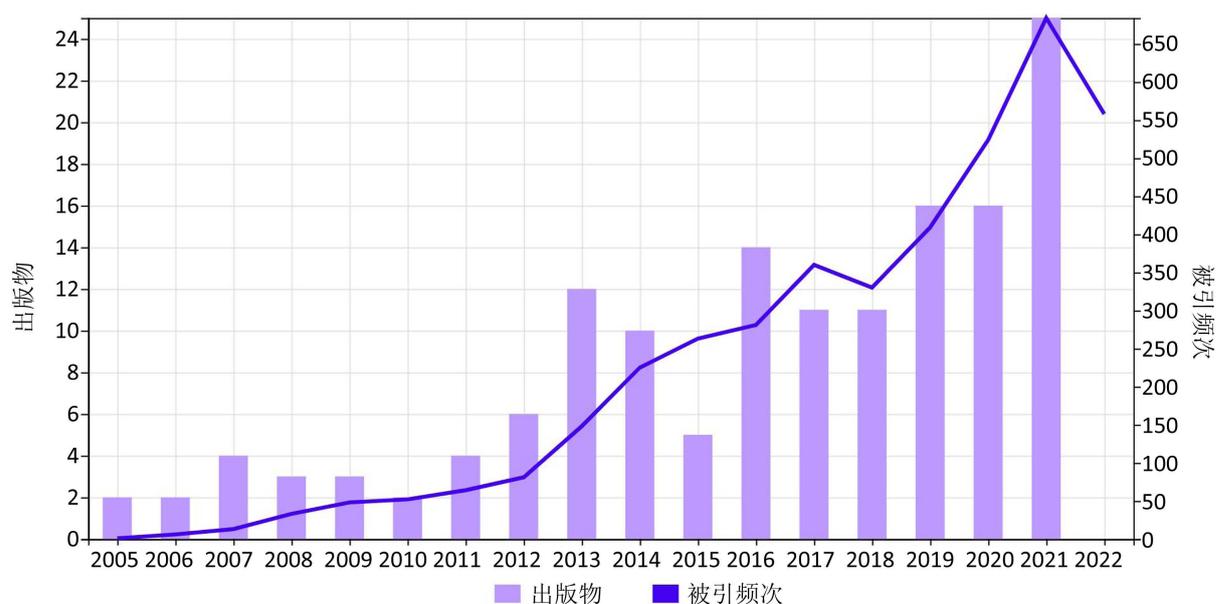


Figure 1. Change trend of the number of annual papers and cited frequency of the research on the relationship between exaptation and innovation

图 1. 扩展适应与创新关系研究的年度发文数量及被引频次的变化趋势

行下载保存以作为研究数据集合。对有效文献的分析主要包括文献期刊、核心作者、研究机构、关键词、研究热点国家分布等。此外，本研究通过 WOS 在线分析检索结果生成引文分析报告，获取部分数据结合本研究进一步分析，使研究分析结果更加完善。

(一) 研究期刊分布

设定期刊的最小引用单位大于等于 20 次，得出 78 个共被引期刊排名，取共被引频次 TOP 10 的期刊(见表 1)可知，相关期刊大多分布在自然科学、管理学等综合领域学科中，其中《自然》(Nature)是综合性的期刊，涉及商业贸易与生物科学等，论文共被引频次最高且最强，共被引频次为 389 次，强度为 23,566，居于首位；《美国国家科学院报》(P Natl Acad Sci Usa)次之，共被引频次为 378 次，连接强度为 23,735；位列第三的是《科学》(Science)综合性期刊，尤其涉及医药、生物与计算机科学等领域，共被引频次达 324，连接强度位于第三。

Table 1. TOP 10 journals in terms of co-citation frequency and connection strength
表 1. 共被引频次及连接强度 TOP 10 期刊

序号	期刊	共被引频次	连接强度
1	Nature	389	23,566
2	P Natl Acad Sci Usa	378	23,735
3	Science	336	19,646
4	Ind Corp Change	182	7121
5	Nucleic Acids Res	178	11,130
6	Res Policy	170	6415
7	Genome Res	163	12,915
8	Mol Biol Evol	163	10,621
9	Cell	134	11,643
10	Nat Rev Genet	131	10,462

(二) 核心研究作者分布

核心作者是推动学术创新研究的重要力量，通过对核心作者的发文共被引情况及连接强度进行深度挖掘和分析，可以反映出代表性作者的研究领域分布情况。由表 2 共被引频次及连接强度 TOP 10 的作者可知，Gould, S J 作为最早一批提出扩展适应“物件被发现除了主要用途之外还有其他用途，并且新用途逐渐取代已有的主要用途”这一概念的学者之一，为后续学者深入研究扩展适应的定义以及在管理学中的应用奠定了基础，同时 Gould, S J 作为医学病理学专家在研究药物的临床应用和医疗诊断等方向，极大借用扩展适应在医学创新上的作用，这也是扩展适应最初的发现与使用，共被引频次高达 115 次，连接强度高达 1016。其次是 Andriani, P 从模块化视角分析扩展适应引发创新的特点，利用煤焦油发展案例探究扩展适应引发创新的机理，为扩展适应在管理学的应用提供理论基础，共被引频率高达 82，连接强度高达 1257。Dew, N 关注研究扩展适应作为一种关键进化力量在经济系统中产生新颖性，专注研究企业策略与管理制度方面的创新，认为由扩展适应实现的新技术扩张与利基构建(进化理论中的两种非常规力量)挑战了市场作为独立选择机制的传统概念[17]。Garud, R 对不同类型生物与当下不同科学技术(如鸟的羽毛结构与玻璃纤维结构)进行类比分析，探究扩展适应在技术领域“偶然发现”作用下的创新应用[18]。

(三) 研究国别分布

由表 3 发文量 TOP 10 的国家排名可知，相关学者主要分布在美国、英国、法国、意大利、德国、瑞

Table 2. TOP 10 authors for co-citation frequency and connection strength
表 2. 共被引频次及连接强度 TOP 10 作者

序号	作者	共被引频次	连接强度
1	Gould, S J	115	1016
2	Andriani, P	82	1257
3	Dew, N	62	1081
4	Garud, R	57	937
5	Cattani, G	52	1288
6	Mokyr, J	30	636
7	Chuong, E B	26	232
8	Nelson, R R	24	805
9	Felin, T	23	461
10	Wagner, A	20	99

士、加拿大、日本、比利时等国家，排名前三的分别是美国(39.7%)、英国(24.6%)与法国(13.6%)。其中，美国关于扩展适应与创新关系研究成果最多，引用数与连接强度也最大。国家发文量与表 2 中共被引频次及连接强度 TOP 10 作者分布相关，其中美国学者(7)、英国学者(1)、法国学者(1)、瑞士学者(1)，故国家的创新发展量与学者的创新研究相关。其中美国关于扩展适应与创新关系的研究发文量与被引用数均第一，高达 58 篇，引用次数高达 2105。

Table 3. TOP 10 countries in terms of publication volume
表 3. 发文量 TOP 10 国家

序号	国家	发文量	引用数	连接强度
1	USA	58	2105	180
2	England	36	1051	108
3	France	20	626	158
4	Italy	17	251	124
5	Germany	11	177	5
6	Spain	11	508	72
7	Switzerland	10	243	31
8	Canada	9	521	52
9	Japan	9	313	6
10	China	8	78	3

(四) 研究机构分布

尽管扩展适应与创新关系研究整体尚未形成广泛的核心研究机构群，但有少数研究机构对扩展适应与创新关系研究具有较大影响力。由表 4 可知，美国圣塔菲研究所、瑞士生命信息研究院与瑞士苏黎世大学发文量均为最高，且法国国家科学研究中心(Cnrs)虽然发文量略低，但文章的引用量居于最前。在扩展适应与创新研究发文量前十名的大学中，其余大学分别是中国科学院(中)、致商学院(法)、剑桥大学(英)、牛津大学(英)、帕多瓦大学(德)及亚利桑那州立大学(美)。

Table 4. TOP 10 research institutions in the number of publications
表 4. 发文量 TOP 10 研究机构

序号	研究机构	发文量(篇)	引用量
1	Santa Fe Institution	8	184
2	Swiss Inst Bioinformat	8	184
3	Univ Zurich	8	184
4	Chinese Acad Sci	5	57
5	Kedge Business Sch	4	139
6	Univ Cambridge	4	401
7	Univ Oxford	4	66
8	Univ Padua	4	27
9	Arizona State Univ	3	122
10	Cnrs	3	300

(五) 热点主题分析

本文通过统计扩展适应相关文献内关键词共现的频次所形成的关键词贡献聚类知识图谱，来研究扩展适应在创新领域的研究热点与方向。本文借助 VOSviewer 软件基于贡献频次大于 5 的关键词对研究主题进行聚类分析，从扩展适应与创新关系研究的高频词中，结合聚类主题、节点大小及中心性等，将最终出现的 34 个关键词聚类为 3 个相关主题，如图 2 所示(相同颜色为一类，圆圈的大小代表共现频次出现的高低)：

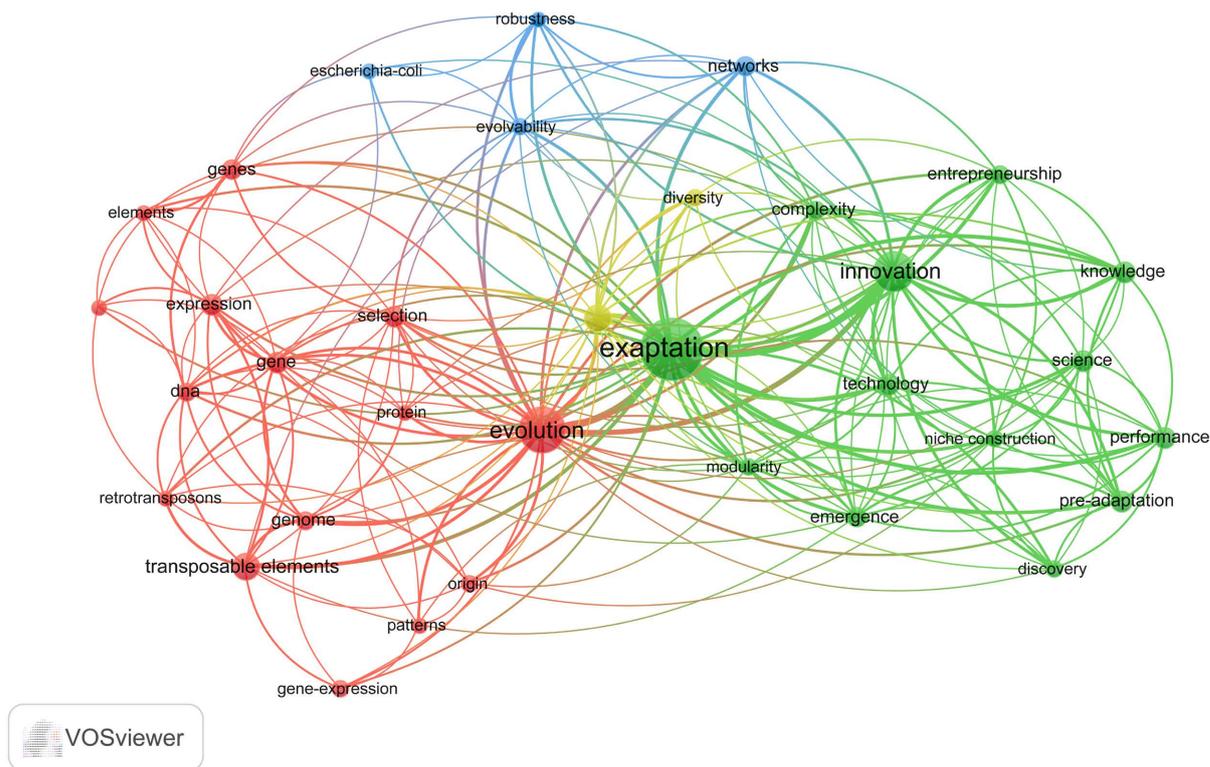


Figure 2. Keyword co-occurrence clustering knowledge map
图 2. 关键词共现聚类知识图谱

扩展适应分布最为广泛的领域为管理学、医学及生物学领域。扩展适应起源于生物学中的达尔文生物进化理论演变规律，初期用于探究扩展适应作用下生物的遗传与进化作用。后期多用于医学类领域的医药技术创新发展，如碳酸盐消毒手术、亚甲基蓝精神病药的意外发现及创新研发过程，故扩展适应引发创新的研究中包含诸多生物进化与医药领域。2000年 MOOR 将扩展适应这一概念引入管理学领域后 [3]，人们开始探讨扩展适应引发创新的发生过程与机理分析，并逐渐应用于企业管理与技术创新中，为创新提供了新途径。

具体聚类如下所示：

聚类一：扩展适应在企业管理与技术创新的应用。聚类的核心词为创新，关联词为技术、模块化、预适应、意外发现与出现、生态位构造等，内容主要涉及扩展适应引发创新的培育过程及扩展适应引发创新的演变机理分析。

聚类二：扩展适应对生物进化过程中创新作用。医学领域涉及扩展适应作用下的蛋白质分子的基因转录与表达、医学医药等领域的技术产品创新发展，涉及的主要关键词有脱氧核糖核酸、基因表达、基因、蛋白质、转录等。

聚类三：扩展适应在生物进化创新过程中的稳健性。扩展适应来源于生物学中的达尔文的生物进化规律的演变，主要关键词有大肠杆菌、可进化性、鲁棒性等。

3. 扩展适应引发创新的趋势分析

通过以上分析，本文认定现阶段扩展适应引发创新的研究趋势可大体分为两类，一是关于扩展适应引发创新的培育过程研究，即如何驱动扩展适应引发创新的发生，二是关于扩展适应引发创新过程中的演变机理研究，其中最为典型的是 Raghu Garud 培育过程研究以及 Pierpaolo Andriani 等人的演变机理研究，这也是当前扩展适应引发创新的研究趋势。

(一) 趋势一：扩展适应引发创新的培育过程分析

扩展适应可以为创新带来有别于一般创新的“逆”路径，但由于过程具有极大的偶然性，在 2018 年由 Raghu Garud 等人探究扩展适应发生过程的培育，并将其分为三个环节：扩展池、扩展事件、扩展论坛，分别代表对扩展适应发生的维持、激活、情景化 [11]，如图 3 所示。

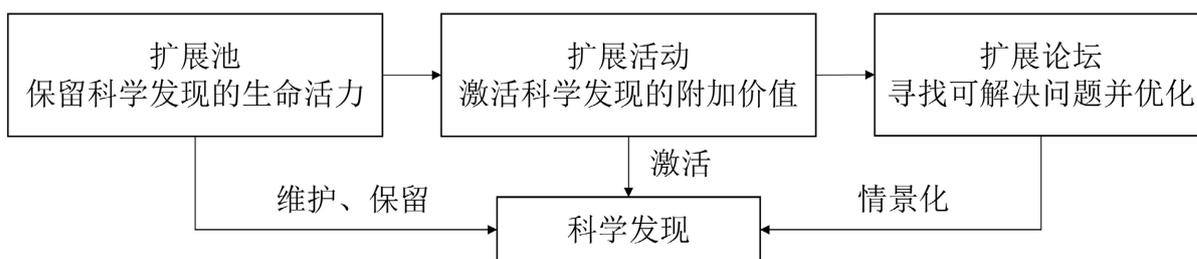


Figure 3. Raghu Garud's division of exaptation cultivation

图 3. Raghu Garud 对扩展适应培育的环节划分

扩展池是保持科学发现以等待再次被激活利用的储备池。如专利保护知识产权则是通过构建扩展池对已有的科学发现与发明进行保留，同时保留相关技术知识。在创新研究中，研究者面对新现象不敏感时，新现象的不活跃性此刻显现，构建扩展池是原生态保留新现象特征，并在后期利用扩展论坛等方式为新现象寻找可解决问题的方法之一。“扩展池”可以在新功能无法被立即使用的情况下得以保留，以备后期扩展适应的各个阶段识别，增加未来研究效用的可能性。

扩展事件是对储存在扩展池中的休眠科学技术进行激活的过程，通过开放式创新增加发现效用的可

能性。由于新现象的潜在功能具有不确定性，可以通过组织技术展览会在有限时间聚集多样化资源，头脑风暴式建立快速而短暂思考，激活休眠想法(包括在扩展池中储存的暂未有新突破的不寻常发现)，等“扩展活动”来提高对新现象探索性研究的可能。

扩展论坛是对已激活、及时的科学创新发现的置于特定环境中，通过内部沟通形成对新发现用途的集体构建，使之成为符合整体需求的新用途。即市场引导者对于新功能新产品的具体适用领域进行需求把控，确定扩展适应引发创新的范围[11]。

(二) 趋势二：扩展适应引发创新的演变机理分析

分析扩展适应引发创新的演变机理，可以更好地掌握扩展适应引发创新的过程原理，理清创新“逆”过程的作用路径。2021年 Pierpaolo Andriani 和 Renata Kaminska 学者提出的扩展适应引发创新的三阶段：影响性、可供性、功能性[19]，构建了扩展适应引发创新的三阶段作用机理模型，揭示扩展适应引发创新演化的作用黑箱，如图4所示：

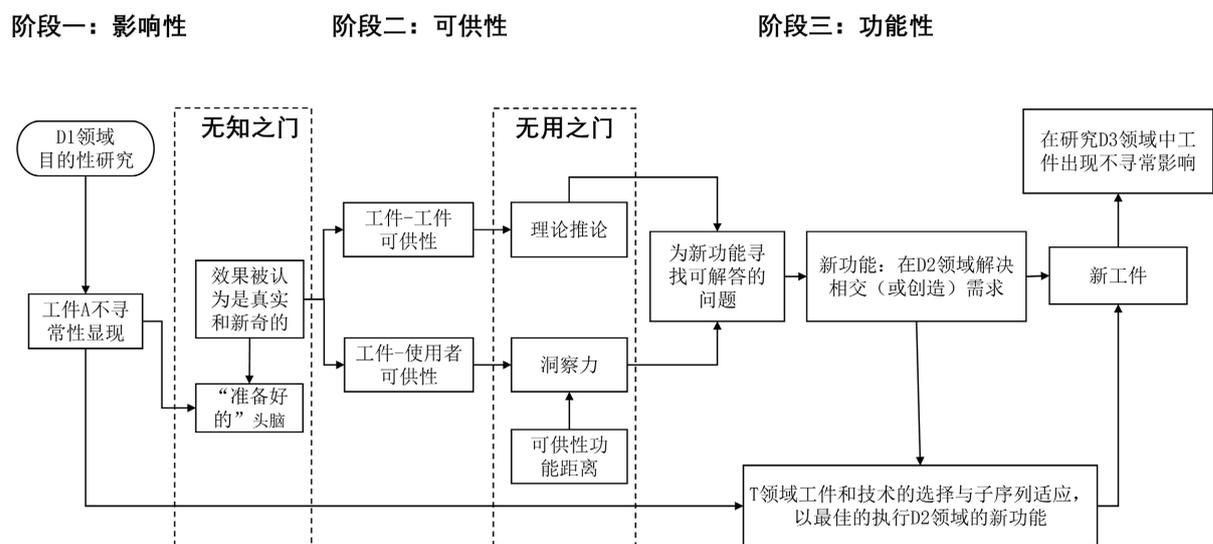


Figure 4. Mechanism diagram of Pierpaolo Andriani's "three-stage, two-gate" exaptation innovation

图4. Pierpaolo Andriani “三阶段、两门”扩展适应创新机理图

1) 影响性阶段扩展适应的作用机理。扩展适应的第一个阶段来自于某一领域 D_1 的目的性研究中，研究者在现有研究过程中偶然发现的已有事物所显现出的不寻常特征，具体表现为工件 A 显现出的不寻常特性被研究者及时捕获，Pierpaolo Andriani 将此阶段定义为扩展适应作用下新特征的影响作用阶段。在这一阶段所显现的新功能特征往往是在传统研究方法过程中的意外发现，在科学范畴具有不活跃性[20]和不确定性，对未来新功能研发具有未知潜能。研究者应具备高信息敏感度精准获取新现象未知功能，即拥有“准备好的头脑”提高对新现象的分析利用，对具体新功能进行研发与探索，识别可用领域。深入研发新现象是扩展适应驱动引发创新形成具体新功能的先决条件。

由此可见，实现新现象转变为可用功能的必要介质是研究者具备“准备好的头脑”，能够洞察一般研究中偶然出现的不寻常性，同时不寻常现象中的特征被验证具有可行性。Pierpaolo Andriani 将此介质定义为——无知之门，将两阶段之间的转化定义为“无知之门的跨越”。跨越的成功取决于研究者自身的“心理准备”，依赖研究者通过洞察力保持高“信息敏感度”[19]以发现新功能信息及新效果敏感性所需的适用性能力。据此，研究者能够对发现的不寻常行进行深入研究，生成具有明确功能价值的技术方法。

2) 可供性阶段扩展适应的作用机理。扩展适应的第二个阶段来自在现有研究识别新特征基础上，研

研究者通过现有技术证实新现象的可用性后对新现象进行功能性分析与设计，以确保新现象生成潜在新功能。此阶段涉及研究者技术、工件功能的创新性生成或原有技术功能在新领域的创新性使用，Pierpaolo Andriani 将该过程定义为可供性阶段。在新现象具备一定价值潜力的前提下，研究者通过理论推论证实工件的转化能力，并具备洞察力识别工件的实现与研究者之间的技术距离，为新功能寻找可解决问题的答案。证实的关键在于现有工件与预期实现的创新工件之间的功能距离以及工件与研究者研发能力的技术距离，即新现象自身所具备的全部潜能与人们可以预见的新现象在当下或未来可能的创新性之间的距离。研究者知识储备与技术研发能力是缩小差距、触发新现象潜在多功能的关键。因此，在原工件被识别新功能过程中，有两个因素不可或缺：一个是研究者的知识储备，有助于研究者从新现象中及时联想到所需领域以及可能改善解决的问题，另一个是新现象所具备的价值潜力，即新现象自身所具备特征能够为技术、产业带来的新优势。

技术的开发潜力非线性的依赖于现有技术的数量[5]，故原工件的重新组合形成的具有新功能作用的组件，需要实现功能 - 组件转化能力、技术 - 研究者研发能力的跨越，即功能与组件间的转化能力与研究者自身具备的资源识别开发能力。Pierpaolo Andriani 将此介质定义为——无用之门，即从无现实意义的功能转化为能够解决社会具体问题的现实技术、组件的过程。

3) 功能阶段扩展适应的作用机理。扩展适应的第三个阶段是将已确认的新功能形成功能组件并为之寻找能够解决的现实问题。通过与多产业合作或联合互助的方式对新技术不断改进与优化，提高组件适应性，扩大其商品化范围。此过程涉及创新型商品的形成与功能上的完善、适应性的提高以及整体功能的延伸，Pierpaolo Andriani 将此过程定义为扩展适应功能阶段。扩展适应引发创新的过程通常是一个适应性阶段，在新功能组件具备商业价值之前，需要构建专用架构以确保其安全性、成本效益和体验感[5]等激发需求。该需求领域往往不同于进行初始目的性研究的原领域，可以来自现有的与原领域不相关的需求，也可以来自新功能引发后创造的新需求。对不寻常现象的发现也可直接在新领域发现需求，利用已有工件在新领域执行新功能。

对明确需求的功能组件进行技术性调整与改进，是产品进化到商品的重要过程，往往需要数代人、多产业合作来提高商品的市场性，并逐渐取代具有相似功能的原有商品或开辟一个新的产业领域，引发行业创新。创新过程逐渐由商品导向需求转变为需求导向商品，形成渐进式创新的范式，同时对创新性商品的研究也由偶然的不寻常行显现转变为某领域的目的性研究，并在研究过程中再次捕获新的“偶然的不寻常性”，实现新一轮扩展适应引发行业、技术的创新过程[19]。

4. 结语

文章鉴于现有扩展适应与创新的相关研究，运用 VOSviewer 软件结合知识图谱和聚类研究方法进行可视化分析，以 2005~2021 年 WOS 收录的 146 篇扩展适应引发创新为主体的文献为例，分析国际环境扩展适应引发创新研究的现状与进展，提出未来研究方向，以期丰富国内相关理论研究与实践应用。具体结论如下：

1) 扩展适应引发创新的研究发展领域多集中创新管理、生物进化与医药领域。根据扩展适应与创新关系构建的知识图谱可知，主要集中于创新管理的预适应、模块化等创新模块；医药领域的蛋白质分子转录与基因的表达、生物领域的生物适应性进化的等方面。

2) 扩展适应与创新关系研究多集中于美、英、法等国家，学者、机构与期刊主要分布于美国、英国、法国、意大利、德国、瑞士、加拿大、日本、比利时等国家，中国关于扩展适应引发创新理论性基础性研究不足。

3) 当前的研究趋势多集中于扩展适应的创新培育与引发创新的机理研究。包括扩展适应引发创新的

实现需要创新工具：扩展池、扩展活动、扩展论坛进行保留、激活与维护，以及扩展适应引发创新演变的过程的阶段划分：影响、可供性、功能，其中三个阶段分别代表研究者对新现象蕴含信息的捕获抓取、研究分析、利用调整，各阶段创新递进分别需要跨越“无知之门”与“无用之门”。该结论有助于理清扩展适应对创新的作用原理与发展过程，明晰扩展适应对创新“逆过程”的促进作用，并以期丰富我国未来产业的创新发展。

参考文献

- [1] Andriani, P. and Kaminska, R. (2021) Exploring the Dynamics of Novelty Production through Exaptation: A Historical Analysis of Coal Tar-Based Innovations. *Research Policy*, **50**, Article ID: 104171. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104171>
- [2] Gould, S.J. and Vrba, E.S. (1982) Exaptation—A Missing Term in the Science of Form. *Paleontological*, **8**, 4-15. <https://doi.org/10.1017/S0094837300004310>
- [3] Mokyr, J. (2000) Evolutionary Phenomena in Technological Change. In: Ziman, J., Eds., *Technological Innovation as an Evolutionary Process*, Cambridge University Press, Cambridge, 52-65.
- [4] Ganzaroli, A. and Pilotti, L. (2011) Exaptation as Source of Creativity and Innovation. Departmental Working Papers 2011-04.
- [5] Andriani, P. and Carignani, G. (2014) Modular Exaptation: A Missing Link in the Synthesis of Artificial Form. *Research Policy*, **43**, 1608-1620. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.04.009>
- [6] 李天柱, 马佳, 李妍. 重视基于扩展适应的药物研发加强重大疫情防控技术支持[J]. 中国科技论坛, 2021(1): 127-135.
- [7] 任声策, 高天昊, 许晖. 扩展适应: 创新的另一个源泉——研究述评与展望[J]. 外国经济与管理, 2019, 41(1): 16-29.
- [8] Jacobs, J. (1969) *The Economies of Cities*. Random House, New York.
- [9] Jacobs, J. (1985) *Cities and the Wealth of Nations*. Random House, New York.
- [10] Jacobs, J. (2000) *The Nature of Economies*. Random House, New York.
- [11] Garud, R., Gehman, J. and Giuliani, A.P. (2018) Antonio Paco Giuliani. Serendipity Arrangements for Exapting Science-Based Innovations. *Academy of Management Perspectives*, **32**, 125-140. <https://doi.org/10.5465/amp.2016.0138>
- [12] Arthur, W.B. (2009) *The Nature of Technology*. Free Press, New York.
- [13] Dew, N. (2007) Pre-Adaptation, Exaptation and Technology Speciation: A Comment on Cattani (2006). *Industrial and Corporate Change*, **16**, 155-160. <https://doi.org/10.1093/icc/dtl036>
- [14] Wiener, N. (1995) *Invention: The Care and Feeding of Ideas*. MIT Press, Cambridge, 123-124.
- [15] Chesbroug, H. and Chen, E.L. (2013) Recovering Abandoned Compounds through Expanded External IP Licensing. *California Management Review*, **55**, 83-101. <https://doi.org/10.1525/cmr.2013.55.4.83>
- [16] Big Bets: Energy. What's Next? AtlanticLIVE. <https://youtu.be/nf86UVvvYr0>
- [17] Dew, N. and Sarasvathy, S.D. (2016) Exaptation and Niche Construction: Behavioral Insights for an Evolutionary Theory. *Industrial and Corporate Change*, **25**, 167-179. <https://doi.org/10.1093/icc/dtv051>
- [18] Garud, R., Gehman, J. and Giuliani, A.P. (2016) Technological Exaptation: A Narrative Approach. *Industrial and Corporate Change*, **25**, 149-166. <https://doi.org/10.1093/icc/dtv050>
- [19] Andriani, P. and Kaminska, R. (2021) Exploring the Dynamics of Novelty Production through Exaptation: A Historical Analysis of Coal Tar-Based Innovations. *Research Policy*, **50**, Article ID: 104171. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104171>
- [20] Irvine, J. and Martin, B.R. (1984) *Foresight in Science: Picking the Winners*. Pinter, Dover.