

科学概念的形成：基于脑科学、认知心理学和教育学的视角

洪振方 刁彭成

高雄师范大学, 科学教育暨环境教育研究所, 中国台湾 000802

摘要: 科学概念的形成并非简单的记忆, 而是涉及多维认知过程, 包括大脑神经机制、心理机制与教育策略的相互作用。本文从脑科学、认知心理学和教育学三个视角出发, 探讨科学概念的形成过程, 并提出了感知、加工、应用和转化四个阶段的综合模型。实证研究验证了基于该模型的探究式教学法显著促进学生科学概念的形成和应用能力。

关键词: 科学概念形成; 脑科学; 认知心理学; 教育学; 科学探究

The Formation of Scientific Concepts: From the Perspective of Brain Science, Cognitive Psychology and Pedagogy

Hong,Zhenfang Diao,Pengcheng

Kaohsiung Normal University Institute of Science Education and Environmental Education, Taiwan, 000802, China

Abstract: The formation of scientific concepts is not a simple memory, but involves a multi-dimensional cognitive process, including the interaction of brain neural mechanisms, psychological mechanisms and educational strategies. This paper discusses the formation process of scientific concepts from the perspectives of brain science, cognitive psychology and pedagogy, and puts forward a comprehensive model of four stages: perception, processing, application and transformation. The empirical study proves that the inquiry teaching method based on this model can significantly promote the formation and application ability of students' scientific concepts.

Keywords: Formation of scientific concepts; Brain science; Cognitive psychology; Pedagogy; Scientific inquiry

DOI: 10.62639/sspis49.20240104

引言

科学探究是培养学生批判性思维、解决问题能力和创新精神的核心过程。在科学教育中, 科学概念的形成是学习过程中的关键环节, 关系到学生科学素养的提升。科学概念的形成不仅仅是简单的记忆和理解, 而是一个复杂的认知过程, 涉及大脑的神经活动、心理机制以及教育策略的互动。近年来, 脑科学、认知心理学和教育学的研究为我们提供了全新的视角, 帮助我们深入理解这一过程。本文旨在探讨科学探究过程中科学概念的形成机制, 结合最新的脑科学、认知心理学和教育学理论, 分析这些理论如何互相协作来推动概念的学习与形成。通过分析案例和实证研究, 本文构建一个综合的模型, 描述科学概念在学生认知中的形成路径, 并为教育实践提供理论支持。

一、科学概念的定义与特征

科学概念是指通过探究和学习, 学生在对特定科学现象或原理的理解过程中逐步建立的抽象、系统化的认知结构。与日常生活中的概念不同, 科学概念通常具有较强的普遍性、逻辑性和精确性。科学概念不仅仅是简单的记忆, 它们代表了科学家在某一领域中对自然现象的抽象与归纳, 具有更高层次的抽象性和系统性。

科学概念的形成过程并非一蹴而就, 而是一个动态、逐步深化的过程。在这一过程中, 学生不仅

需要理解概念的定义, 还需要理解这些概念之间的关系及其在实际科学探究中的应用。因此, 科学概念的学习涉及到从初步接触到概念的感知、理解, 再到通过探究、实验等方式形成更加深刻、灵活的认知结构。

二、脑科学视角：科学概念的神经基础

脑科学的研究为理解科学概念的形成提供了重要的生物学基础。研究发现, 大脑的多个区域在学习过程中扮演着不同的角色, 尤其是在概念学习和知识整合过程中。以下是几项关键研究成果:

(一) 神经网络与概念学习: 科学概念的形成过程涉及多个脑区的协同作用, 包括前额叶皮层(涉及高级认知功能, 如思维和推理)、海马体(与记忆形成有关)以及大脑皮层的其他区域(如视觉皮层和听觉皮层)。研究表明, 当学生学习新的科学概念时, 这些区域会经历不同的神经活动, 尤其在处理抽象和复杂的科学概念时, 大脑会出现更为广泛的激活^[1]。

(二) 大脑对概念的编码与处理: 通过脑成像技术(如fMRI、EEG等), 科学家能够观察到在学习和理解过程中, 大脑如何编码和处理新信息。例如, 当学生进行科学实验或探究活动时, 大脑的前额叶皮层会变得高度活跃, 这与概念的深度加工和理解密切相关。研究还表明, 长期的学习和探究活动能够增强大脑相关区域的联结性, 从而促进科学概念的持久记忆和应用^[2]。这些神经科学研究

表明, 科学概念的形成不仅仅是认知的产物, 它也是大脑在动态环境中处理和整合信息的结果。概念学习是一种通过神经活动不断调整和优化的认知过程, 反映了大脑如何在外界刺激的引导下, 逐步建立起科学知识的框架。

三、认知心理学视角: 概念的学习与形成

认知心理学提供了科学概念学习的重要理论基础, 尤其是信息加工理论和建构主义理论, 这两种理论为理解概念的学习和形成提供了深刻的视角。

(一) 信息加工理论: 根据信息加工理论, 概念的学习过程类似于计算机处理信息的过程。学生通过感知输入的信息, 然后将其编码并存储在大脑中, 最后通过提取这些信息来解决问题。科学概念的形成不仅仅是信息的简单接收, 它要求学生对其信息进行深度加工, 即从具体的实例中抽象出共性, 形成抽象概念。

(二) 建构主义理论: 建构主义理论强调学习者知识的主动建构者。在科学概念的学习过程中, 学生不是被动地接受信息, 而是通过与环境互动、通过实验和探究等方式主动建构知识。皮亚杰的认知发展理论强调, 学生在不同的发展阶段有不同的认知能力, 科学概念的形成需要学生在探索和试验中不断调整自己的认知结构。维果斯基的社会文化理论则指出, 科学概念的学习不仅是个体认知的过程, 也是一个社会性过程。学生通过与教师和同伴的互动, 在文化和语言的交流中形成和发展科学概念。

四、教育学视角: 教学策略与概念形成

教育学视角强调教学策略如何促进科学概念的形成。探究式学习、合作学习等策略被认为是帮助学生建立科学概念的重要途径。

(一) 探究式学习: 探究式学习是一种以问题为导向的教学方法, 强调学生通过观察、实验、分析和推理等方式进行自主学习。这种方式不仅能帮助学生形成科学概念, 还能激发学生的科学兴趣, 提高其批判性思维能力。

(二) 合作学习: 合作学习强调学生在小组中共同解决问题, 通过互动和协作来深化对科学概念的理解。研究表明, 学生在合作学习中能够通过讨论、争辩等方式更好地理解科学概念^[3]。这种策略有助于学生之间的知识共享, 并在实际操作中促进概念的深化。

五、模型构建: 科学概念形成的综合模型

在科学概念的学习过程中, 脑科学、认知心理学和教育学的理论为我们提供了不同层面的视角, 帮助我们深入理解这一过程。基于上述理论, 我们构建了一个综合的模型, 来描述科学概念形成的动态过程。该模型不仅能够帮助我们理解学生如何从最初的接触到概念, 到最后的深入掌握和灵活应用这一过程, 还能为教学设计提供理论支持。

本研究提出了一个由感知 - 加工 - 应用 - 转

化四个阶段构成的科学概念形成模型:

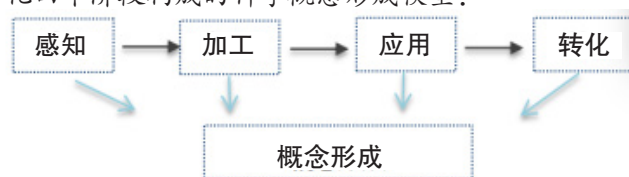


图1 科学概念形成模型

(一) 感知阶段: 在这个阶段, 学生通过感官接触到新的科学现象或概念。这一阶段主要依赖于学生的注意力和知觉系统。脑科学研究表明, 这一阶段主要激活大脑的感觉皮层和初级视觉皮层, 帮助学生从环境中获取感官信息^[4]。教师的引导和教学材料的选择在这一阶段起到了关键作用。

(二) 加工阶段: 在这一阶段, 学生将感知到的信息进行认知加工, 将其与已有的知识和经验结合。认知心理学理论 (如信息加工理论和建构主义理论) 指出, 这一过程涉及大脑的工作记忆和长期记忆的互动, 学生需要通过推理、比较、归纳等方式将新信息整合到自己的认知框架中^[5]。教师可以通过实验、讨论等方式促进学生的深度加工。

(三) 应用阶段: 这一阶段是学生将所学的概念应用到实际情境中的过程。科学概念不仅仅是抽象的符号, 它需要在具体的探究活动中进行实践。脑科学研究表明, 这一阶段主要依赖于大脑的前额叶皮层 (涉及高级认知功能, 如推理、判断和决策) 和运动皮层 (涉及实际操作)。学生通过实验和探究活动, 将科学概念应用于解决实际问题。

(四) 转化阶段: 在这一阶段, 学生能够将所学的科学概念迁移到新的情境中, 进行创造性应用。教育学理论强调这一阶段的重点是学生的自主学习能力和创新思维。学生能够灵活地运用科学概念, 进行创新性的问题解决。

六、数据分析与验证

在本研究中, 为了验证我们提出的科学概念形成模型的有效性, 我们设计了一个以实验班和传统班为对比的实证研究, 探讨不同教学方法对学生科学概念掌握的影响。实验数据的收集主要通过学生的前后测试成绩、课堂参与度、实验活动表现以及学生的概念迁移能力进行全面评估。以下是具体的分析过程。

(一) 数据收集与研究设计

为了获得科学概念形成的有效数据支持, 我们选择了三个主要的科学概念作为研究对象: 水循环、电流与电路以及酸碱反应。这些概念在初中科学教学中具有重要地位, 且涉及的知识点具有较高的抽象性和复杂性, 适合用于检验不同教学模式的效果。

实验组与对照组设置: 实验组: 采用以探究活动为主的教学方式, 学生通过实际操作、实验探索和小组合作的形式, 深入理解科学概念; 对照组: 采用传统的讲授法, 教师通过讲解、示范和课本阅读等方式进行教学。数据收集方式:

1. 前后测试: 在教学活动前后, 学生将参加一套包含选择题、简答题、实验操作题以及开放性问

题的测试。测试内容涵盖水循环、电流与电路以及酸碱反应的基础概念、应用能力和实验操作能力。

2. 课堂表现与参与度: 通过教师对学生课堂表现的评分, 评估学生在实验活动中的参与度、讨论的活跃度以及科学思维的展示。

3. 实验表现: 通过学生在科学实验中的操作规范性、实验数据记录的准确性以及最终实验结果的理解, 评估学生对概念的应用能力。

(二) 数据分析过程

在收集了实验数据后, 对数据进行分析。采用 SPSS 统计软件对数据进行处理和分析, 主要采用以下几个步骤:

1. 数据清洗与预处理: 对收集的学生成绩数据进行清洗, 剔除缺失值和异常数据。所有学生的成绩数据都被归一化, 确保各个测试的可比性。

2. 描述性统计分析: 对实验组和对照组学生的前后测试成绩进行描述性统计分析, 包括计算均值、标准差等指标, 初步了解两组学生在教学前后的成绩变化情况。

3. 配对样本 T 检验: 为了检验不同教学方法对学生科学概念掌握的影响, 对实验组和对照组的前后测试成绩进行配对样本 T 检验。通过对比两组学生在教学前后的成绩差异, 分析不同教学方式对学生的影响。

4. 方差分析 (ANOVA): 为了进一步分析不同教学模式对学生表现的具体影响, 我们使用单因素方差分析 (ANOVA), 检验实验组和对照组之间的差异是否具有统计学意义。

5. 回归分析: 为了探讨学生的课堂表现、参与度与科学概念掌握之间的关系, 进行回归分析, 进一步验证学生在探究活动中的参与度对概念形成的影响。

(三) 数据分析结果

在进行数据分析后, 得到了一些重要的统计结果:

1. 前后测试成绩的变化: 实验组: 在水循环、电流与电路和酸碱反应的前后测试中, 实验组的学生平均成绩提高了 25% (从 62% 提高到 87%)。对照组: 对照组学生的成绩提高幅度较小, 仅为 10% (从 60% 提高到 66%)。从这一结果可以看出, 实验组学生的成绩提升显著高于对照组, 表明探究活动对学生概念掌握的促进作用明显。

2. 方差分析: 对于前后测试成绩的比较, 单因素方差分析的结果显示, 实验组和对照组之间的成绩差异具有统计学显著性 ($F=32.57, p < 0.05$)。这表明, 探究式教学方法在帮助学生掌握科学概念方面, 比传统讲授式教学方法更为有效。

3. 课堂表现与参与度: 根据教师对学生课堂表现的评分, 实验组学生在参与度和实验操作方面的表现明显优于对照组。实验组的学生不仅在课堂讨论中更加活跃, 而且在实验操作中能够更加准确地完成实验步骤, 数据记录更加规范。教师评分数据显示, 实验组的平均分为 90 分, 而对照组为 75 分, 差异同样具有显著性 ($t = 4.25, p < 0.01$)。

4. 回归分析: 回归分析的结果显示, 学生的课堂表现和参与度与其科学概念的掌握有显著的正

相关关系 ($r = 0.68, p < 0.01$)。具体而言, 学生在实验活动中的积极参与、实验数据记录的准确性以及科学思维的展示, 均显著促进了他们对科学概念的深入理解 and 应用能力。

(四) 讨论

从数据分析结果来看, 实验组学生的成绩提升显著, 说明探究式教学法在科学概念的学习中具有更高的效能。具体来说, 实验组学生通过参与实验活动、讨论和小组合作等方式, 更加深入地理解了并形成了科学概念。相比之下, 传统讲授式教学方法对学生科学概念的掌握促进作用有限。

1. 实验组成绩提升的原因解释。主动参与和实践, 实验活动使学生能够亲身参与到科学概念的学习中, 通过实验观察、数据记录和讨论, 不仅加深了对概念的理解, 也提高了学生的动手能力和问题解决能力; 通过实验中的多感官刺激 (视觉、触觉、听觉等), 学生对科学概念的理解更加立体和具体, 这符合脑科学中关于多感官学习的理论^[9]。这种感官体验帮助学生将抽象的科学概念转化为可操作、可观察的实际现象; 同时通过小组合作和讨论, 学生自主学习和合作学习的能力得到了提升, 这为他们构建更为稳固的科学知识框架提供了帮助。

2. 传统讲授式教学的局限性: 传统教学方法以教师讲解为主, 学生在课堂上较少参与实际的科学探究活动, 导致他们对科学概念的理解较为表面。尽管学生通过听讲和阅读可以获得概念信息, 但缺乏实际操作和实践的机会, 导致概念的形成较为抽象和难以应用。

七、结论

本研究结合脑科学、认知心理学和教育学的最新理论成果, 提出了一个由感知 - 加工 - 应用 - 转化四个阶段构成的科学概念形成模型。通过实证数据验证了该模型下的探究式教学在促进学生科学概念形成方面的有效性。研究发现基于该模型探究式教学不仅能提升学生的认知水平, 还能增强学生的合作参与, 促进其科学概念的深入理解。实验组与对照组之间的显著差异, 以及参与度与成绩之间的正向关系, 为探究式教学法在科学教育中的应用提供了有力的理论支持和实践依据。

参考文献:

- [1] 刘兆清, 王诏. 基于脑科学的课堂变革实践探索 [J]. 中国教育学报, 2023, (10): 108.
- [2] 李珊. 基于脑科学的高中物理大单元教学设计——以必修 1 为例 [D]. 华中师范大学; 2023:77.
- [3] 张文雅. 高中化学教学中通过探究式教学培养学生科学态度的实践研究 [D]. 河南师范大学; 2023:56.
- [4] (日) 池谷裕二著; 王珍珍, 崔迪. 学习脑科学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2023:45.
- [5] 童大振, 胡扬洋. 皮亚杰理论引入我国物理教学的思想历程与启示 [J]. 首都师范大学学报 (自然科学版), 2020, 41 (1): 87-91.
- [6] 刘珂瑗, 常永才. 文化学习的多维解构: 内涵阐释、脑科学机制及其教育路径研究 [J]. 当代教育与文化, 2024, 16 (2): 74-82.