

小学科学探究学习对元认知能力培养的作用

叶宝生 曹温庆

摘要：小学科学课程倡导采用科学探究的学习方式。心理学研究指出，培养学生的元认知能力，对于学生学会学习、学会做事具有重要意义。通过对科学探究过程的分析，对比元认知能力的内涵，可以发现科学探究具有元认知特征。在小学科学教学中，对低年级学生宜采用“脚本”构建的方式培养其元认知能力，对中高年级学生则应让他们遵从科学探究逻辑，学习科学探究方式，并在总结与反思环节注意对科学探究流程的总结。

关键词：小学科学；科学探究；元认知能力

人类的学习涉及大量知识的获取和应用过程，也就是认知过程。认知的结果是知识本身，但获取和应用知识依靠的则是方法。在具体情境下，如何使用这些方法，何时使用这些方法，需要人们主动地选择、调节和控制。人类所具有的这种能力就是所谓的“元认知”。我们经常强调的“学会学习”“学会做事”，就是对元认知能力的培养。元认知包括元认知知识和元认知能力。科学学习倡导学生经历类似科学家探索自然世界的过程，即采用探究的方式进行学习。科学探究既需要策略知识，也需要调控探究过程的能力。也就是说，科学探究具有元认知特征。本文以元认知理论为基础，讨论科学探究中培养小学生元认知能力的教学策略。

一、元认知知识和元认知能力

布卢姆在讨论认知领域教育目标分类时，将知识分为事实性知识、概念性知识、程序性知识和元认知知识。他界定的元认知知识，是指关于一般认知的知识以及关于自我认知的意识和知识^{[1] 42-45}，包括策略性知识、关于认知任务的知识、关于自我的知识。

策略性知识是关于学习、思维和解决问题的一般性策略的知识。这类知识可在许多不同的任务和学科中应用。策略性知识可分为三大类，即复述策略、精加工策略和组织策略。复述策略即一遍又一遍地重复需要回忆的单词和术语。对于更深层次的学习和领会，复述一般不是最有效的策略。精加工策略既包括记忆任务使用的各种方法，还包括总结、释义以及选择教科书中的主要观点等技巧。这一策略能够促使学生对学习材料进行深度加工，从而产生比复述策略更好的理解和学习效果。组织策略包括各种形式的概述、绘制“认知地图”或概念图以及做笔记。利用组织策略，学生可将材料从一种形式转变为另一种形式。组织策略通常也会产生比复述策略更好的理解和学习效果。

除了关于各种策略的知识，个体还积累了关于认知任务的知识，可分为情境知识和条件性知识。具体包括知道不同的认知任务难度可能不同，知道不同的任务可能对认知系统提出不同的要求，知道不同的任务可能需要不同的认知策略。

关于自我的知识包括对自己在认知和学习方

面的强项与弱项的了解。寻找所需信息的某些一般性策略以及对自己知识基础的广度与深度的自我意识,是关于自我的知识的重要部分。一方面,学生需要意识到在不同的情境中,自己可能需要的各种一般性策略。另一方面,学生对于完成某一任务的自我效能感,对于完成该任务的目的和原因的理解,对于完成该任务的个人兴趣的认识,以及对于该任务对自己的重要性和有用性所做的判断等,都会影响学生监控和调节自己学习行为的方式。

加涅提出学习结果的五种类型,即言语信息、智慧技能、认知策略、动作技能和态度。其中,认知策略是指运用有关如何学习、记忆、思维的规则支配学习、记忆或认知行为,并提高学习、记忆或认知效率的能力。^[2]这被视作一种高阶认知能力。作为学习结果,一般情况下,认知策略学习是与概念学习结合在一起的。认知策略又包括复述策略、精加工策略、组织策略、调控策略、情感策略。其中,调控策略就是元认知,即控制与调节其他学习和记忆的过程,应用调控策略的能力就是元认知能力。

二、科学探究的认识论基础

科学认识的一般过程,即人类的科学认识过程可表述如下。首先,基于客观事实,通过观察、实验等技术手段将其呈现为科学或经验事实,再经过逻辑思维的加工形成科学认识。之后,通过技术手段的证实或思维的论证使科学认识上升为科学理论。当然,在此过程中,科学认识可能经过证实,成为公认的理论;也可能被证伪,无法得到科学共同体的认可,有待修改;还可能在成为科学理论并经过实际运用后,发现新的矛盾,促使自身不断更迭发展。^[3]

我们应考察人类的科学认识过程,理解在此过程中对科学的认识和形成的观点。从客观事实到经验(科学)事实,是以观察实验为手段的技术反映阶段。这种反映具有客观性,即必须基于客观事实且尽量逼近客观事实。同时,我们还要认识到技术手段的局限性,即它只能反映客观事实的某个或某些侧面、某个或某些属性。就像用尺子测量一根木杆的长度,尺子的读数是木杆长度的测量值,属于经验事实。它在某种精度上反

映了木杆的长度,具有客观性。我们可以提高尺子的测量精度,也可以用多次测量取平均值的方法减小偶然误差,但木杆的真实长度(即客观事实),我们是无法准确知道的。又如,汤姆逊由阴极射线发现原子中存在电子,这是科学事实,反映出客观存在的原子是有结构的。这是对原子内部情况的初步认识,但本真的原子结构我们仍不清楚。因此,经验(科学)事实不等于客观事实,其对客观事实的反映既具有客观性,又具有局限性。需要强调的是,科学认识的起点是经验(科学)事实,而非客观事实。

从经验(科学)事实到科学认识,是运用思维手段进行推理判断的阶段。此阶段依赖思维方法,强调方法的合理性或者说合乎逻辑性,这是客观性的要求。但是自然世界的复杂性和我们所能获得经验证据的局限性,会使我们的科学认识存在阶段性和片面性。以原子核式结构模型为例。卢瑟福用 α 粒子轰击金箔,得到多数 α 粒子通过金箔、少数 α 粒子大角度偏转甚至反弹的现象,这是经验(科学)事实。由此推断,原子内部是很空旷的,原子质量集中在一个带正电的粒子上,这个粒子被称为原子核。结合汤姆逊的发现,卢瑟福进一步推断原子核集中了原子的所有正电荷和几乎所有质量,电子在原子核外。由于正负电荷之间存在库仑引力,电子不可能在原子核外静止。与行星运动类比,电子应该在原子核外旋转,正负电荷之间的吸引力提供电子做圆周运动的向心力。由此,卢瑟福概括出原子核式结构模型,建立科学理论。汤姆逊发现原子中存在电子,认为电子镶嵌在原子内的正电荷中,得到枣糕模型。而卢瑟福的原子核式结构模型是对原子结构认识的深化,是对汤姆逊原子模型的修正。因此,科学认识本身具有发展性或者说可错性。即便科学认识经过质疑,得到证实,成为科学共同体认同的科学理论,它仍然具有这种性质。

科学探究的过程如下。通过观察客观事实产生问题,经过观察和实验收集证据,呈现科学事实,分析数据并做逻辑推理得到探究结论,将科学事实上升为科学认识。这一阶段形成的科学认识,可能经过证实成为科学理论,也可能在实践中被证伪等待进一步修正发展。通过科学探究过

程与科学认识过程的对比,可以发现,科学探究过程是基于科学认识论的,是符合科学认识规律的,科学探究可以成为教学遵循的模式。

三、科学探究的元认知特征

人们解决问题的关键是对思维有意识地监控和调节,也就是说,元认知在解决问题过程中具有关键作用。科学探究就是发现问题、提出解决策略并最终作出决策的过程,也就是解决问题的过程。所以,进行科学探究活动是可以培养小学生的元认知能力的。同时,有研究者发现,具有高水平元认知能力的学生,在探究过程中会更高效地解决问题。由此可见,科学探究与元认知之间呈现相辅相成的紧密关系。

科学探究是人们探索 and 了解自然、获得科学知识的重要方法,也是小学科学学习的重要途径。在科学探究过程中,学生要经历提出问题、作出假设、制订计划、实施操作、描述总结和表达交流等环节。例如,在引导学生探究声音的产生时,教师创设情境提出问题“声音是如何产生的”,学生根据已有的经验和知识进行推测,形成振动产生声音的假设。此时,解决教师提出的问题就转化为完成具体的任务——证明假设是否成立。要想完成任务,学生不但要分析自己是否有能力解决问题、是否有兴趣和信心坚持完成任务,还要运用已有的解决问题的经验和方法来解解决它。当上述知识和情感准备充足后,学生就要开始设计解决方案,包括选择实验材料,如橡皮筋、钢尺、音叉、鼓等物体;设计实验流程,即分别观察上述材料发出声音时的现象,以及声音停止时材料的状态;对小组成员进行分工,如组长负责协调和统筹进度,现象观察员要认真细致地注意材料的发声状态,记录员要准确记录观察到的现象,发言员要将实验现象完整准确地表达出来。通过实施事先精心设计的计划,学生能较为全面地发现现象并总结结论,即当材料发出声音时其在振动,而声音停止时其振动消失。在此过程中,学生需要通过监控思维来控制实验的操作过程,如发现无法清晰地观察鼓发出声音时的状态,则需要及时调整计划,将绿豆放在鼓面上以“放大”鼓的振动现象。最终,学生经过逻辑思维归纳得出振动产生声音的结论。这标志着此

前假设得以证明,也就意味着教师提出的问题被解决。以上科学探究的过程可以看作解决问题的过程。

既然解决问题的过程离不开元认知的应用,且科学探究的过程等同于解决问题的过程,那么,科学探究的过程自然蕴含着大量元认知的应用。所以,科学探究学习具有元认知特征,科学探究可以培养小学生的元认知能力。科学探究既是科学学习的方式,又是人类解决问题的方式,因此其本身也就成为一项重要的学习内容。^[4]

四、通过科学探究培养元认知能力

科学探究涉及多个环节,各环节之间的关系既有来自科学认识论的要求,又源于自身的逻辑联系。因此,科学探究要按照各环节的逻辑顺序展开,这样才能使学生形成科学解决问题的方式和习惯,才能有效培养学生的元认知能力。

(一) 低年级学生的“脚本”构建

从语言基础角度看,低年级学生已经可以在日常生活中自由交流,即他们的听说能力可以满足正常交往的需要,但其读写能力尚在形成过程中,还有较大缺陷。学生在这一阶段获得的科学概念主要是分类概念,他们要将概念词与形象物建立一一对应的表征关系。教师需要精心设计安排,帮助学生掌握获得一类事物的共同特征进而建立类概念的方法。对一些例行活动或规律性事件的预测性构思或安排,就是“脚本”构建。^[5]“脚本”在认知学习和社会化过程中都很重要。对于认知学习来说,所有关于这个世界的信息都以“脚本”这种心理结构来组织,“脚本”也被当作更复杂、更抽象的认知技巧的基础。对于学生的社会化过程来说,“脚本”提供了一种可以和他人分享有关这个世界知识的方法。“脚本”的构建,可以让学生有机会与他人交换经验,从他人的描述中学习,并以不同的视角来讨论应不应该继续研究等问题。

布卢姆提出的程序性知识是关于“如何做某事”的知识^{[1]40},包括具体学科的技能 and 算法知识与具体学科的技术和方法知识。对于科学学科而言,“技术和方法知识”是通过达成共识取得的一致意见或学科规范,反映的是一个领域或学科内专家思考和解决问题的方式。元认知知识中

最基本的是策略性知识，而程序性知识则是策略性知识的基础。对于低年级学生来说，元认知策略性知识基本等同于程序性知识。因此，对低年级学生元认知能力的培养，就是针对分类和类别的科学知识，开展如何进行分类、如何进行归类的程序性知识的教学。教师帮助或指导学生设计观察程序，就是心理学中所谓的“脚本”构建。由于低年级学生听说能力有余而读写能力不足，教师不但要让学生阐释观察结果，更要让学生对观察方法、观察流程进行口述，让他们在口语表达中相互补充。教师综合记录后，再让学生朗读。这可以使学生同时通过听觉和视觉记忆程序性知识。这样的“脚本”构建，重点在于学生元认知知识的学习。

（二）中高年级学生的“探究”流程学习

1. 遵从科学探究逻辑，学习科学探究方式

科学探究，就是在观察客观事实的基础上，产生疑问，激发探究好奇心，提出有研究价值的科学问题。对于科学问题，要先经过发散性思维来猜想问题产生的原因，再通过一定经验的支持与逻辑思维加工，形成较贴合实际的假设。通过假设确定研究内容后，再开展科学探究的主体部分——设计验证方案。只有通过翔实的实验设计，学生才可能将观察到的客观事实转化为科学事实。开展以上活动的主要目的是让学生学习元认知知识并丰富元认知体验。这是因为，提出问题的过程需要学生运用对自我进行分析的能力（包括自己是否有能力解决它、是否有兴趣有信心坚持完成探究），要引发学生联想曾经的经历与体验（包括该问题与以前的经验是否有关联、以前解决类似科学问题时是成功还是失败、这些情感体验对这次探究会有什么影响等）；作出假设的环节要求学生对探究问题进行任务分析（包括分析该探究问题是否可行且具有价值、形成的假设是否有经验与逻辑的支撑等）；制订计划的环节需要学生对程序步骤、材料选用和人员分工进行思考。为保证方案的完整翔实，学生不仅需要具备一定的计划能力，还要灵活掌握一些方法策略，即学生不仅要了解策略的内容，更要掌握在何时何地运用策略。上述科学探究第一阶段运用的知识与体验均来自元认知知识（对自我、任务和策略的认识与分析）与元认知体验。所以，

科学探究的第一阶段（即制订计划阶段），可作为学生学习元认知知识的途径之一。

验证假设，就是实施计划并收集数据，以整理分析后的数据作为判断假设正确与否的依据。这一过程是一个证实或证伪的过程。通过执行完整翔实的计划，学生得到充分的数据信息资料，接着对观察到的现象和事实进行描述。这个信息处理阶段实现了对客观事实的反映，进而形成科学事实。之后，若得出的结论能对问题产生的原因进行解释或者初步形成规律性结果，科学事实即上升为科学认识。至于形成的结论是否与他人一致，还需大家交流讨论。此过程可能会使科学认识得到认可或被否定，这就会引发反思评价，进而不断更迭，最终产生一个大家认可的解决该问题的结果。上述过程是解决科学问题的执行阶段和总结反思阶段，需要运用大量高质量的元认知技能，还会产生积极或消极的元认知体验。在执行计划阶段，学生要细致且注意力集中地按照计划操作（包括准确完成程序、清晰观察现象、详细记录数据等），这就需要调动元认知能力中的监控技能以防止脱离计划。在遇到突发情况（如实验材料损坏、数据记录错误等）时，学生要及时调整实验方案以保证计划顺利执行，这就需要元认知能力中的调节技能。在科学事实上升为科学认识的过程中，学生要将收集到的信息经逻辑思维加工总结为结论，即灵活运用各种元认知知识（可能会运用多种思维方法）。在表达、交流结果的过程中，如果结论得到了他人的肯定，则会产生快乐的情绪体验，若结论被否定，则会产生一定的消极情绪，并促进自身反思。这些过程不仅丰富了学生的元认知体验，还有利于他们构建更完整的元认知知识与技能体系。

2. 在总结与反思环节注意对科学探究流程的总结

总结与反思，不仅是学习科学知识和科学探究方式的重要步骤，更是培养元认知能力的关键环节。只有对科学探究过程中经历的各种环节进行总结，使用各种方法和策略反思遇到意料之外的问题时应如何调整计划、重新安排，才能逐渐掌握科学探究的过程。学生在科学探究中获得成功时的愉快情绪，会激发他们今后探究的兴趣，而遭遇失败时的难过情绪，也会让他们更深刻地

了解科学探究的内涵，懂得探究不是一帆风顺的，其中会有坎坷，意识到只有努力总结失败的经验教训并坚持尝试改进，才会收获成功的喜悦。如果学生能将以上体会应用于日常的问题解决过程之中，就能潜移默化地形成元认知能力。

例如，在学生探究物体的沉与浮之后，教师请他们交流本节课的收获和体会。有的学生认为，自己在探究过程中表现得十分认真和细致。这说明他在探究中能认真完成自己的任务，即具备一定的元认知监控能力。也有的学生总结出自己掌握了控制变量的思想，即选用大小、体积相同但质量不同的物体进行沉与浮的探究，这样才能找到沉浮的本质原因，并提出该思想可以运用到未来的探究活动之中。这说明他总结了自己探究问题的方法并能将其应用于日常问题解决，即形成了元认知知识。有的学生设想通过自主设计实验（按从轻到重和从大到小的顺序将不同物体放置在水中，观察现象并分析论证）来证明物体的沉浮与其大小和轻重没有直接关系。这说明他应用了元认知策略。还有的学生觉得上完这节课非常开心，因为他通过自己设计并执行实验得出了结论，证实了猜想。这说明他的成功经历丰富了其元认知体验。

在总结阶段，教师可利用板书对科学探究流程作出显性表达，即带领学生回顾所学知识、方法，同时板书科学探究过程。回顾和总结不仅能让学生掌握知识，还能让他们掌握探究的一般过程，学会运用适当的方法，如观察、控制变量等认知策略来获取和保持信息。元认知策略包括对

执行任务过程的监督和调控，将现象总结为结论的精细加工和组织，以及发现自身在探究中易出现的问题，等等。这需要教师提前设计板书，不仅要从全局视角帮助学生总结本节课的科学知识结论，还要回顾科学观察方法、实验方法、思维方法的应用，将科学探究流程显性地表示出来。通过不断地、持续地对科学知识内容和策略性知识进行明确清晰的归纳，可以更好地培养学生反思与总结的习惯，提高他们学以致用迁移能力，最终实现元认知能力的培养。

参考文献：

- [1] 安德森，克拉思沃尔，艾拉沙恩，等. 布卢姆教育目标分类学：分类学视野下的学与教及其测评：完整版 [M]. 蒋小平，张琴美，罗晶晶，译. 北京：外语教学与研究出版社，2009.
- [2] 加涅. 学习的条件和教学论 [M]. 皮连生，王映学，郑葳，等译. 上海：华东师范大学出版社，1999：54-72.
- [3] 刘大椿. 科学哲学 [M]. 北京：中国人民大学出版社，2011：44-47.
- [4] 王晶莹. 科学探究论 [M]. 上海：华东师范大学出版社，2011：8.
- [5] 谢弗. 儿童心理学 [M]. 王莉，译. 北京：电子工业出版社，2010：229-232.

（作者叶宝生系首都师范大学初等教育学院教授；曹温庆系首都师范大学初等教育学院讲师。）

（责任编辑：郭晨跃）