

XIAOXUESHENG KEXUE XUEKE NENGLI YANJIU

CEPING CHENGXIANG BIJIAO YU TISHENG LUJING

小学生科学 学科能力研

究
测评、城乡比较与提升路径

究

唐小为
邵发仙◎著



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

小学生科学 学科能力研

测评、城乡比较与提升路径

究

唐小为
邵发仙 著



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

小学生科学学科能力研究:测评、城乡比较与提升
路径 / 唐小为, 邵发仙著. — 重庆: 西南师范大学出
版社, 2015.11

ISBN 978-7-5621-7683-1

I . ①小… II . ①唐… ②邵… III . ①科学知识 - 教
学研究 - 小学 IV . ① G623.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 259409 号

小学生科学学科能力研究:测评、城乡比较与提升路径

XIAOXUESHENG KEXUE XUEKE NENGLI YANJIU CEPING CHENGXIANG BIJIAO YU TISHENG LUJING

唐小为 邵发仙◎著

责任编辑: 伯古娟

装帧设计: 汤立

出版发行: 西南师范大学出版社

地址: 重庆市北碚区天生路 2 号

邮编: 400715

<http://www.xscbs.com>

经 销: 全国新华书店

印 刷: 重庆紫石东南印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 9

字 数: 190 千字

版 次: 2015 年 12 月 第 1 版

印 次: 2015 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5621-7683-1

定 价: 25.00 元

序

2011年，受教育部和联合国儿童发展基金会委托，我设计并主持了“教师教学方式变革促进农村地区小学生学习能力发展”（SMILE）项目。该项目从语文、数学、科学的学科视角出发，对《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》（以下简称《纲要》）中提出的“三大能力”，即学习能力、实践能力、创新能力，解读其内涵；深入重庆忠县、云南剑川、贵州纳雍实地调研，并对当地农村教师进行培训，开展以培养学生“三大能力”为中心的探究式教学，成效显著。当时刚从美国马里兰大学毕业回国的唐小为博士和刚走上工作岗位的邵发仙教研员都是项目课题组的核心成员，她们研究功底扎实，为“三大能力”的内涵解读和农村科学教师的培训做了大量的实际工作。

基于“SMILE”项目的前期研究，唐小为博士在2013年又主持了重庆市教育科学“十二五”规划统筹城乡教育研究发展重大专项委托课题“城乡小学生科学学科三大能力的评价、比较与提升策略研究”，从而将“SMILE”与之有机结合。两位青年学者在为改变农村教学落后现状的路上潜心前行。

提升农村教师教学的有效性，是实现教育公平的必然要求。与之相关的问题包括：怎样定义教学的有效性？怎样测量教学的有效性？怎样为农村教师教学效果的提升提供明确有力、可持续的支持？这本书从科学学科角度出发，通过理论研究与实践探索，给出了一份理论与实践并重的特色答卷。

在理论部分，研究者基于大量的国内外文献和长期的课堂观察，建构了小学科学学科能力的初始理论模型，综合使用了新型测评方式设计测评工具并开展测试。测试数据一方面用于检验和修正初始模型，另一方面用于城乡比较，探明了城乡学生在概念理解能力和科学本质观上存在的显著差距，由此明确了提升农村科学教学效果的具体努力方向。

研究至此转入实践。研究者组织了城乡教师实践共同体，先后通过集体备课、课例研讨、案例研究等方式帮助农村教师提升教学水平。这个部分也正是该

项目“出彩”的地方。在持续的分享、探讨和实践的过程中，城乡教师从培养学生能力，尤其是提升学生能力弱项的角度出发，反思和重构了自己的教学行为。在学会如何“备学生”，为学生能力发展创设空间的同时，他们自身对科学概念和科学本质观的理解也在不断加深，形成了一种“从实践到理念”的教师专业发展模式，即本书中的“‘绕远’的捷径”。

这一模式的奏效值得广大教师、教育者关注。首先，它是创新的——有别于一般的理念引领型教师培训思路，该模式通过在实践中内化，促进教师的理念成长，减少了理念与实践脱节的问题。其次，它是双赢的——通过参与这一共同体，初始教学水平不同的农村教师都得到了提升；优秀的城市教师在担当“引领者”的同时，自身的教研能力也得到了长足的进步。最后，它是可扩张、可持续的——不少参与教师将共同体里探讨的问题和探讨问题的方式带回自己学校的教研组内，扩大了共同体的外延；在项目结束、研究者逐渐退出后，参与教师们在共同兴趣和追求的驱动下，仍继续自主开展这样的教研活动。这说明他们切实感受到了专业发展模式的优良效果。

统筹发展城乡基础教育，将《纲要》中的学生能力发展目标落到实处，需要通过这种实实在在的工作进行。这本书既是“SMILE”项目的延续，又是“城乡小学生科学学科三大能力的评价、比较与提升策略研究”结题研究成果。我衷心希望这种研究者、城市教师和农村教师“三合一”的实践共同体渐成燎原之势，那将是教育改革倡导者们最希望看到的局面之一，也是对本书作者两年辛勤付出的最好回报。

西南大学教授、博导
中国教育学会学术委员会副主任
教育部基础教育课程改革专家工作委员会委员副主任

袁晓

20世纪80年代以来,教育对中国社会阶层分化的影响愈加明显。经济飞速发展的同时,城乡差距并未显著缩小,在部分地区甚至有扩大的倾向,造成这一现状的一个主要原因是城乡教育水平失衡。教育公平是社会公平的基础,基础教育城乡一体化又是教育公平的必然要求。统筹城乡发展基础教育,不仅要保障“在财政拨款、学校建设、教师配置等方面向农村倾斜”^①,从政策上推动城乡教育资源均衡配置,还需从课堂入手,通过具体而微的努力缩小城乡学科教学质量与学生学习效果的差距,将宏观教育理念和人才培养目标转化为对教学实践的有效指导。

在基础教育各学段的诸学科中,小学科学属于课程地位低下、师资紧缺的薄弱学科,在农村地区尤其突出。这与我国“科教兴国”的基本国策和大力培养科技创新人才的时代要求极不相称,是制约整体教育质量提升的瓶颈,也是阻碍城乡基础教育均衡发展的重要因素。缩小城乡基础教育差距正应从改进这样的“短板”入手。

缩小差距的前提是确定目标并找出差距所在。《纲要》提出,要“坚持以能力为重”“着力提高学生的学习能力、实践能力和创新能力”。^②小学科学教育肩负着提高全民科学素养和启蒙科技人才的双重使命,更应致力于在本学科框架下提升学生的这三大能力,尤其是作为其他两种能力发展基础的学习能力,以帮助下一代适应科学知识不断更新、科技不断融入生活的现代社会,成长为有自主探究能力的终生科学学习者。基于这一目标,要促进城乡小学科学教育的均衡发展,必须充分了解城乡学生科学学习能力的差异,深入发掘差异成因,再进一步设计和实施有针对性的提升策略。

从这样的初衷出发,本研究以“三大能力”为初始框架,综合国内外最新研

① 中共中央、国务院.国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020年)[N].人民日报,2010-03-01(5).

② 同上。

究成果建构了小学生科学学科能力评价指标体系，设计了相应的测评工具，实施测评以找准城乡小学生科学学科能力差距，并在此基础上组建了区域性的城乡科学教师实践共同体，开展了以城乡一线科学教师为主体、立足课堂的行动研究，探索了改变科学教师教学方式、促进学生科学学科能力发展的有效策略。

量化的诊断性测评和长期的微观课堂研究，力图将科学教育的先进理念转化为能够指导解决实际问题的工具，是本研究的一大特色，这在我国科学教育研究领域尚不多见。其中，以长期运作的城乡教师实践共同体提升教学质量的做法，是促进城乡教育内涵式均衡发展的新尝试，对其有效模式的探讨亦对教师专业发展的组织策略有借鉴意义。

这书记录了项目组在2013至2015年间的一系列工作与研究成果，希望能给广大的科学教育工作者，尤其是教研员和一线教师们带来一点启示。

CONTENTS | 目录

 第一章 小学科学学科能力理论模型的建立	001
第一节 科学学习能力	002
一、科学观察能力	003
二、科学分析能力	005
三、概念理解能力	006
第二节 科学实践能力	008
一、理论性实践能力	010
二、操作性实践能力	013
三、社会性实践能力	016
第三节 科学创新能力	018
一、概念界定	018
二、内涵阐释	018
三、创新思维	020
四、科学本质观	021
五、科学创新人格	022
第四节 科学学科能力培养教学策略	025
一、科学学习能力培养策略	025
二、科学实践能力培养策略	027
三、科学创新能力培养策略	028
 第二章 城乡小学生科学学科能力测试工具开发	031
第一节 测评方式与测评内容的选择	031
第二节 测试题的具体设计	033
一、表现性评价和问题解决访谈的测评工具建构	033
二、构建纸笔测试工具	034
第三节 测试实施过程	035

	第三章 小学生科学学科能力测试结果解读	036
第一节	小学生科学学科能力模型的检验与修正.....	036
第二节	修正模型的理论性解读.....	041
第三节	城乡小学生科学学科能力差异与成因分析.....	041
第四节	城乡小学生科学学科能力差距缩减策略.....	043
	第四章 以提升学生科学学科能力为目的的教师专业发展	044
第一节	“绕远”的捷径.....	044
第二节	进入共同体边界.....	048
一、	实践共同体的构成.....	048
二、	启动实践共同体：目标与策略.....	049
三、	启动实践共同体：备课模板与备课安排.....	051
第三节	集体备课三部曲.....	053
一、	集体备课初体验.....	053
二、	异质成员增多后的协同集体备课.....	067
三、	参与式备课.....	074
第四节	“关注学生想法的本质”专题研讨.....	077
第五节	教师主导的案例研究.....	084
	第五章 “涉浅水”与“涉深水” ——农村小学科学教师在实践共同体中协同发展的成效报告	091
第一节	农村教师寻找突破口.....	092
第二节	涉浅水者得鱼虾.....	094
第三节	涉深水者得蛟龙.....	097
第四节	始料未及的启示.....	101



附录

附录1 美国科学教育新框架中所提出的跨学科概念与核心概念	103
一、七大跨学科概念	103
二、各个科学领域的核心概念	104
附录2 小学生科学学科能力测评工具	107
一、表现性测试	107
二、问题解决访谈	113
三、纸笔测试	116
附录3 一线教师案例研究论文三篇	121
复杂情景下的问题解决推动学生21世纪技能提高	121
科学课堂评价新思考	126
科学探究既要有激情, 更要讲究方法	129
参考文献	131

第一章

小学科学学科能力 理论模型的建立

传统小学科学教学以基础知识和基本技能的传授为要务。“以能力为重”，即将科学教育的目标从知识中心向能力中心转移。以能力作为小学科学教育的终极目标，并不是要否定知识、抛弃知识，而是要把教师传授知识转变为学生探索知识，并在教师的带领下，于探索的过程中有目的地促进学生学科能力的发展。探索过程中能力的发展，又可推动今后的科学探究更自主、更深入地进行，最终使学生成长为能够自主探究自然世界的终身科学学习者。

比如，在教授《物体沉浮条件》这一课时，若以知识为导向，教师就会着眼于让学生认识到物体在液体中的沉浮与物体自身密度和液体密度有关。但若以能力为导向，教学的重心就应放在为学生创造各种条件，让他们通过对实际现象的细致观察，设计并操作对比实验，来探究影响物体沉浮的因素。在这个过程中，学生的观察能力、推理能力、实验设计能力和执行能力都会得到锻炼。一个科学老师如果能在教学中具体而微地去把握和追求“能力”这个目标，他的课堂教学在过程和效果上都将有别于传统教学。

要帮助教师开展这种以能力为目标的教学，首先要建立可指导测评工具、开发教学策略、且可基于测评进行检验和修正的科学学科能力模型。本研究以《纲要》中要求培养的“三大能力”为基本框架，通过借鉴与科学学科能力的解读和建模相关的研究文献，结合实际课堂观察，对科学学科中学习能力、实践能力、创新能力的内涵进行解读，建立与我国小学生认知发展水平相适应的科学学科能力初始理论模型。

在科学课堂中，学习能力、实践能力、创新能力这三种能力是不可分割、共同发展的。它

们并非指向三种类型的学习活动,而是指向科学探究学习活动的不同侧面。其中,学习能力强调建立科学概念,并应用科学概念理解自然现象;实践能力强调有效参与科学探究与科学对话;创新能力强理解科学知识的本质和发展过程,并依据这种理解进行科学知识的建构。在下文中,我们将对这三种能力的内涵和评价指标进行阐述。在这之前,关于这一阐述有两点需要明确。

(1) 三大能力在基本概念层面上是相互交织的,进行科学观察、协调科学证据与理论、生成科学解释等行为贯穿于科学学习、实践和创新之中。为方便起见,相对应的能力维度和亚维度被归在特定能力范畴中进行论述。

(2) 划分三大能力各评价指标的主要依据是对三至五年级小学科学课的课堂观察。在每一项指标中,水平4代表这个年龄段小学生能达到的最高水平,水平1则代表最低水平。水平划分并不是对学生提出的要求,而是给教师提供的一个参考,希望教师能在课堂教学和评价中及时恰当地解读学生的能力状况,找准能力提升的发展方向。

第一节 科学学习能力

科学学习能力可界定为:获取和分析自然现象的相关信息、建立科学概念并应用所建立的概念理解自然现象的能力。这一定义指向我国《全日制义务教育科学(3~6年级)课程标准》(以下简称《科学课标》)中的“获取科学知识”^①的目标维度,且呼应NAEP评价框架中的“识别科学原理、运用科学原理”^②、PISA评价框架中的“以科学方式解释现象的能力”^③、美国《新一代科学教育标准》框架文件(以下简称《框架》)中“建立跨学科概念与学科核心概念”^④的教育目标以及《将科学带入学校》中“了解、应用和解读与自然世界相关的科学解释”^⑤的科学教育使命。

对科学学习能力的这一流程性的描述也符合信息加工学习理论,涵盖了信息流获取、编码和基于反应的输出三个步骤。获取自然现象相关信息的方式有很多种,但在学生抽象思维尚不发达的小学阶段,培养重点应放在作为各类科学活动基础的科学观察能力上。与其他学

① 中华人民共和国教育部.全日制义务教育科学(3~6年级)课程标准(实验稿)[S].北京:北京师范大学出版社,2001:3.

② NAGB.Science framework for 2011 national assessment of educational progress [EB/OL]. <http://www.nagb.org/publications/frameworks/science>, 2011.

③ 王祖浩,龚伟.国内外科学学科能力体系的建构研究及其启示[J].全球教育展望,2013,10(10): 96-108.

④ Schweingruber H, Keller T, & Quinn H (Eds.). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas [M]. Washington D. C.: The National Academies Press, 2012: 2.

⑤ Schweingruber H, Duschl R, & Shouse A (Eds.). Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8 [M]. Washington D. C.: The National Academies Press, 2007: 2.

科不同的是,科学中的信息处理是基于理性分析的过程,包含证据建构及在证据这个基础上的解释和理论建构,这就要求具有基于证据和推理的分析能力。此外,科学学习能力的指向目标是科学概念的建立,而概念是否被有效建立则要看学生能否在

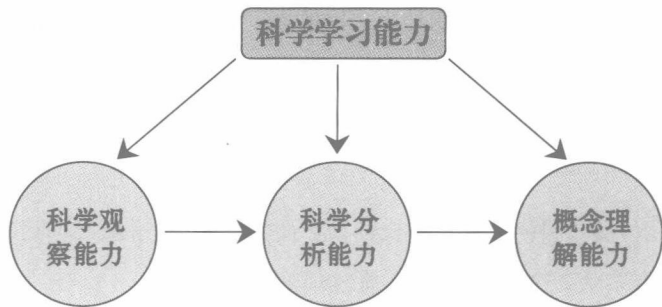


图1-1 科学学习能力的基本结构

一定情境中识别概念并应用概念生成解释,即概念理解能力。这三者相互关联渗透,构成了一般性科学学习过程(如图1-1所示)。

一、科学观察能力

科学观察能力指有目的地运用感官采集客观自然世界相关信息的能力。

许多学科都将观察视为获取外界信息的基本途径,但各学科对观察的具体要求是不一样的。儿童在日常生活中会通过感官的感知来认识世界,但对科学观察而言,感知仅是一个方面,有效的科学观察需要充分协调与观察对象相关的知识、理论、实践行为,在此基础上对注意力的运用进行调控,以采集在当前探究活动中真正有价值的数据。没有经过专门训练的观察新手,往往会“视而不见”“听而不闻”,观察粗糙、缺乏细节,或掺杂过多的主观因素。

近几十年来对科学观察能力的研究表明,儿童日常观察行为和科学工作者的观察行为之间主要存在以下几方面的显著差别。

(1) 复杂程度的差别。

科学工作者能够从多个角度和不同层次观察一个现象,能够同时考量事物宏观和微观的、动态和静态的、表面与深层的、个体与群体的多重特征,而儿童通常仅会注意到那些中等层次的、即时的、表面的、较为常见的单一个体的特征。^①例如,同是观察一片原野,科学工作者可能会看到地貌特征、植被分布状况、生物多样性程度、水体有无污染的征兆等,而儿童则容易注意到地上有树桩、水中有泡沫等显而易见的点。

(2) 目的性的差别。

除了注意力难以持久外,限制儿童观察复杂程度的一个重要因素是,他们的学科知识不足,观察的时候往往缺乏清晰的目的,无法从事物的众多特征中挑选出有用的部分,所以,他们获取的信息往往是零散的,缺乏内在联系和学科逻辑。这和科学工作者建立在学科结构框

^① Eberbach C, Crowley K. From everyday to scientific observation: How children learn to observe the biologist's world [J]. Review of Educational Research, 2009, 79(1): 39-68.

架和研究假设的基础上，目的明确且有条理的观察是很不相同的。^①应该说，这种不同同时也是两者复杂程度存在差异的一个主要原因。例如，儿童看到草场上的土拨鼠，一般会去注意它的模样，看看它的洞有多大，喜欢吃什么等；而熟知土拨鼠习性的生态学家或牧民则会由此察觉草地生态系统的健康隐患，他们会侧重观察这片草场上土拨鼠的种群数量和分布状况，草的种类以及生长情况，而综合这些信息，他们就能了解这块草地被土拨鼠破坏的程度有多大，这是在观察之前就确定好了的。

(3) 客观性的差别。

科学观察是证据生成的基础。证据是否确凿可信，取决于观察者是否能给出真实客观的观察结果。科学工作者会在实施观察时暂且搁置自己的预期和假设，在尽可能客观地记录观察数据后再进行推测和解读；而未受过训练、对科学观察本质不够了解的儿童，则常常会以自己的预期左右观察结果，且难以区分观察结果与推测。例如，问小学一年级的孩子一本书和一张纸同时从相同的高度落地，哪个先着地的问题时，有学生预测是纸先着地。尽管实验现象与之明显相反，他的“观察”仍和自己的预测保持一致，甚至通过修改实验条件（如把纸放在书的下面）来使实验结果和自己的预期保持一致。^②儿童区分推测和观察的能力也存在较大差别。以应用五官对一块无外包装的巧克力进行观察为例，多数学生能做出像“这块巧克力是国产的”等这样较为明显的推测，但只有少数学生能识别“这块巧克力含糖”，而这样的描述中也包含了推测（最为客观的描述应为“这块巧克力是甜的”）。

综上所述，培养儿童进行更为复杂、目的更为明确的观察，引导他们在观察中保持尊重客观事实的态度，应作为小学阶段科学观察能力培养的重点。基于对儿童课堂观察行为的长期观察结果，我们依据上述维度对儿童科学观察能力做了进一步的水平划分（详见表 1-1）。

表1-1 科学观察能力：维度及水平划分*

	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
目的性	无目的、随意的描述性观察	观察描述较随意，但会自发与已有知识作比较	观察时会联系已有知识提问题，自发生成目的	包含研究假设，目的明确地有计划观察
客观性	完全以预期作为观察结果	不能区分观察结果和推测	能区分部分观察结果和推测	能准确区分观察结果和推测
复杂程度	单个静态微观特征观察	两个以上静态微观特征观察	包含静态微观及宏观特征的综合观察	静态特征和动态过程的综合性观察

① Ford M. Disciplinary authority and accountability in scientific practice and learning [J]. Science Education, 2008, 92(3): 404-423.

② Hammer D, Russ R, Mikeska J, & Scherr R. Identifying inquiry and conceptualizing students' abilities [A]. In Duschl R A, Grandy R E (Eds.). Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation [C]. Rotterdam: Sense Publishers, 2008: 138-156.

* 决定实际观察行为的能力因素还包括是否会作科学的观察记录、会使用哪些观察辅助手段等。这些能力因素因与实践能力关系更为密切，遂被并入实践能力下设的执行能力亚维度。

二、科学分析能力

科学分析能力，即从所获信息中寻找规律、构建合理猜想，并调整自己的想法以与不断增加的证据保持一致的能力。

根据所获信息建构科学知识是需要综合使用多种思维能力的复杂过程。对科学数据的分析要求基于证据和推理，即要通过归纳、演绎、类比等推理手段解读客观数据、寻找规律、协调证据和理论以生成更具一致性的科学解释。

小学阶段对科学分析能力的培养，重点不在于学生能进行多么复杂的推理，而是让学生养成对所获信息自主进行理性分析的意识和习惯。因为在有限的已有知识和证据的基础上，学生未必都能自行推理并建构一般意义上的正确知识。以培养学生的分析能力为己任的教师，应少受“正确知识”的束缚，学会将关注点放在学生想法的合理性上，探测学生能否自主找出事物间隐含的规律，能否有效并有意识地区别和协调证据与理论，在证据和推理的基础上辩护自己认同的观点，质疑或反驳不认同的观点，并根据新证据对自己的观点做出修改和调整。

在对自然现象的客观观察结果中识别模式是从具体走向抽象的第一步，也是对外在信息进行分类和组织的基础。人通常是在注意到某种模式的存在时，或在注意到不同模式间的相似性和区别后，对其形成的原因和过程感到好奇，转而追寻现象背后的科学解释。Lowery 利用叶子分类实验对儿童模式识别能力进行了发展水平划分。他的研究表明，处于前演算阶段的儿童只能依据一种静态特征对两个物体进行比较（如将两片形状相似的叶子摆在一起）；处于具体演算早期的儿童能依据一种静态特征对多个物体进行模式识别（如按叶子边缘是否光滑将叶子分作两组）；处于具体演算后期的儿童能协调两个或多个静态特征对多个物体进行模式识别（如按叶子边缘是否光滑、叶脉是对生还是互生将叶子分作四组）；最后，当分类涉及特征属性间的从属关系（如将叶子按科、属相关特征套叠分类），或要求学习者对较为抽象的特征进行归纳时（如归纳物体沉浮条件），对模式识别能力就有了更高的要求。

科学证据可通过单样本观察或模式识别生成，而利用证据推进科学理论建构，还需经过更为复杂的分析过程。Kuhn 的研究表明，证据与理论的协调发展是科学认知的核心。^① 科学工作者的一大特质即能够清晰地表述自己或他人所持理论，针对特定理论给出支持性证据或能对其构成挑战的反例，并就特定证据是如何支持一种理论或证伪另一种理论给出明确的推理过程。

^① Kuhn D. Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking [J]. Science Education, 1993, 77(3): 319-337.

儿童对待理论和证据的方式与科学工作者有两个根本区别。第一，儿童往往不能清晰地区分证据和理论，在表述自己的想法时习惯于给出无证据支撑的个人观点，而在被问到理由和证据为何时，仍会反复陈述该观点。^①如讨论食物营养价值时，学生认定肯德基、麦当劳等主要为油炸食品的洋快餐“没有营养”，当老师问原因时，学生则会再次强调：“因为它们是油炸食品，吃多了会没营养。”第二，儿童往往不能透过证据理性审视自己的观点，面对相左证据时，或选择直接忽视，或通过曲解证据使其与自身观点保持一致，很少能认识到新证据对自身观点构成了挑战，能依据新证据更改或改进自身观点的就更少了。例如，Kuhn 设计的一个实验访谈，要求学生根据所给证据判断发球效果的好坏和哪些因素相关。当一个学生基于自身经验认定发球的效果是由球的大小决定时，他会选择性地注意支持这一结论的证据（如测试结果显示大球中发球效果好的较多），而忽视能够显示其他相关因素的证据（如测试结果显示黑色的球中发球效果好的较多），并通过对不同证据采用不同解读策略来证实自己的观点（如强调大球中发球效果好的占大多数而黑色的球中也有发球效果较差的）。^②

综上所述，培养小学生的科学分析能力，应注重向复杂程度较高的模式识别推进，帮助学生学会区分证据和理论，尊重证据并在证据基础上协调并发展自身理论。表 1-2 从这三个维度出发对科学分析能力作了更细致的水平划分。

表1-2 科学分析能力：维度及水平划分

	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
模式识别能力	不能从数据或样本中识别模式，仅能对单个样本进行描述	依据单个静态特征共性归纳模式	依据多个静态特征共性多次分类归纳模式	依据动态 / 抽象特征共性分类或多个静态特征共性套叠分类归纳模式
区分证据和理论的能力	给出想法时仅给出观点，当被要求给出证据时仅复述观点	给出想法时仅给出观点，当被要求给出证据时混合证据和观点进行陈述，但不包含明确的推理结构	给出想法时仅给出观点，当被要求给出证据时能陈述证据，并在证据和观点间建立明确的推理结构	给出想法时即同时给出证据和观点，并在两者间建立明确的推理结构
协调证据与理论的能力	坚持自己所持观点，不理睬任何实际证据	会以不同方式解读支持性证据和相左证据，以与原有观点保持一致	面对相左证据，能承认自己的观点受到挑战，但无从解决	若得到相左证据，会依据新证据更改或改进原有观点

三、概念理解能力

概念理解能力指识别科学概念并能运用特定概念构建科学解释的能力。

发展学生对科学概念的有意义理解是科学学习的一个主要目标。从“迷思概念重

① Kuhn D. A developmental model of critical thinking [J]. Educational Researcher, 1999, 28(2): 16-46.

② Kuhn D. Children and adults as intuitive scientists [J]. Psychological Review, 1989, 96(4): 674-689.

构”^①“概念转换模型”^②到“学习进阶”(learning progression)^③,研究者越来越清晰地认识到,科学概念的建立不可能一蹴而就,只能是一个在学生已有知识经验基础上不断深化和扩展的过程。2011年发布的《框架》继承了布鲁纳关于学科结构和“螺旋式课程”的观点,强调要围绕少数能体现科学基本组织结构的跨学科概念和核心概念开展科学教学,减少对事实性知识的过分关注,并根据各年龄段学生已有知识和理解能力的水平确定在该年龄段对概念掌握程度的要求(《框架》所涉及的核心概念和跨学科概念见附录1)。

理解一个科学概念,不单指对概念术语和内涵要有所了解,更重要的是要能够综合运用所学概念针对具体现象建构科学解释。把概念理解能力划分为概念识别能力和概念运用能力,为的是体现认知层次上的差异。其中,概念识别能力更偏重于概念作为陈述性知识为学习者所知的程度,而概念运用能力则偏重于概念作为工具的使用范围和效果。二者的区别正是“知其然”和“知其所以然”的区别。能识别和表述一个概念的学生不见得能有效运用这一概念。同样,能把握概念背后的原理并运用这种原理解释问题的学生并不一定知道准确的术语,甚至可能不能对概念给出准确的描述。

例如,一个学生或许知道“基因”指代“染色体上的等位位点”,但当你把DNA序列摆在他面前让他说出“基因在哪儿”时,他可能会指认单个的碱基对(如A-T),因为做遗传分析时,老师不就是用字母代表基因的吗?同样,也有学生能在自行思考和构建解释时无意中“抓到”某一概念的“神”,但对其科学表述的“形”并无了解。如三年级小学生玩条形磁铁的时候很容易发现这个规律:一条磁铁的一端和另一条磁铁的一端如果可以吸在一块儿,那么把第二条磁铁调个头就一定吸不上,即使使劲往一块儿按,一松手也一定会分开。学生可以用这个规律去解释其他一些由磁铁作用引起的现象,但他们未必知道这是磁铁极性的表现,听到“同极相斥、异极相吸”的表述,甚至还会奇怪怎么在一块全黑的磁铁上能分辨出“同极”和“异极”来。对科学学习来说,把握概念的“神”显然更为重要,但如果完全没有关于概念“形”的知识,学习者就无法参与到科学共同体的话语体系中来,自主学习和更高层次的学习就会受阻。

根据学习者概念识别的具体表现,可将这个维度上的能力划分为四个水平。学生从对一个概念完全无知(如不知道磁铁有“磁极”),到能够在现象描述中引入相关术语(如能指出

① Carey S. Conceptual change in childhood [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1985: 186-190.

② Posner G J, Strike K A, Hewson P W, Gertzog W A, et al. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change [J]. Science Education, 1982, 66(2): 211-227.

③ Smith C L, Wiser M, Anderson C W, et al. FOCUS ARTICLE: Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory [J]. Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective, 2011, 4(1-2): 1-98.