

[导语] 2020年9月11日,习近平总书记“在科学家座谈会上的讲话”中,针对科技创新、创新人才尤其是青少年科技人才培养等方面做出重要指示。向科学的深度和广度进军,需要源源不断的科技人才作为基础,青少年科技人才的培养至关重要。为了解青少年科技人才培养的现状、问题和影响因素,探讨可行的培养路径、策略,特组织“青少年科技人才培养”专题。本期专题共收录4篇文章,分别阐述了培养青少年科学论证能力的重要性及策略,探讨了在科技场馆等非正规环境下青少年科技人才培养的现状和问题,分析了我国青少年科学兴趣的现状,研究了学科竞赛对培养青少年科技人才的效果,希望以此引发研究领域的讨论,也供实践领域以参考。(主持人/李秀菊)

青少年科学论证能力及培养策略思考

高潇怡* 刘文莉

(北京师范大学教育学部,北京 100875)

[摘要] 科学论证是当前科学教育发展关注的重要内容,提升青少年的科学论证能力对于切实提升青少年科学素养具有独特价值。培养青少年的科学论证能力,需要在科学教育中增强青少年对科学论证基本结构要素的理解,有目的地指向青少年运用推理组织证据并建构观点,识别科学论证的薄弱点并合理反驳的能力。培养青少年科学论证能力的教学策略主要表现为营造良好的科学论证环境、精心设计科学论证教学内容、合理使用科学论证教学模型、有效利用科学论证教学支架、灵活运用科学论证的评价标准。

[关键词] 科学论证能力 科学素质 培养策略

[中图分类号] G623.6 [文献标识码] A [DOI] 10.19293/j.cnki.1673-8357.2020.06.002

2020年9月,习近平总书记在科学家座谈会上强调,为加快解决制约科技创新发展的关键问题,需要加强创新人才教育培养。青少年是科技创新人才的后备军,揭示创新型人才所具备的能力、素养,探索全面提升青少年科学素养的策略是当前科学教育理论与实践应关照的重要内容。科学论证能力是青少年科技人才应具备的基本能力,也是其科学素养的组成部分。培养青少年的科学论证能力能使青少年像科学家一样参与科学活动,掌握科学家的思维

方式和工作模式,并在此基础上推动青少年成长为科技创新主力军。

当前,科学论证和科学论证能力培养已经受到国际科学教育领域的高度关注。美国的《K-12科学教育框架:实践、跨学科概念和核心概念》将“基于证据进行论证”^[1]列为科学基本实践活动;英国、澳大利亚、土耳其等国家也都在课程标准文件中关注科学论证及其能力的培养;我国在新修订的高中物理、化学等课程标准中同样强调了要培养学

收稿日期:2020-11-25

* 作者简介:高潇怡,北京师范大学教育学部教授,研究方向:科学教育、科学课程与教学,E-mail: gaoyaoyi@bnu.edu.cn。

生的科学论证能力。由此可见,关注科学论证及青少年科学论证能力,探讨青少年科学论证能力的培养策略具有重要的时代意义和发展价值。

1 科学论证与科学论证能力的基本内涵

科学论证是“个(团)体面对科学未知问题时,基于科学证据和理由建构科学主张,同时以反驳、劝说等形式辩护自己的科学主张的合理性实践”^[2]。科学论证兼具个体属性和社会属性,这表明科学论证“既可以产生于个体的内部心智中,也可以由多个人或多个群组通过调整与协商而共同构建”^[3]。科学论证的个体属性强调科学论证是个体整理证据和运用推理来证明特定主张的话语形式^[4];而科学论证的社会属性强调将论证置于话语情境之中,重视科学论证的互动性与对话性,旨在通过提出一系列命题来证明或反驳观点,提高他人对观点的接受性程度^[5]。

科学论证能力是指基于“问题情境的描述和分析,依据现有证据,进行合理推理,支持正确观点或反驳相异观点所必需的、稳定的心理特征”^[6]。也就是说,具备科学论证的青少年能够利用证据和推理来构建个人观点,反驳相异观点。

2 青少年科学论证能力对其科学素养发展的独特价值

培养青少年的科学论证能力对发展青少年的科学素养具有重要作用,具体来说,主要体现在如下几个方面。

2.1 有助于青少年建构科学知识

科学论证重视科学知识建构的过程,强调基于证据和推理的社会性互动对青少年理解科学知识的重要性。论证是一个通过调动、综合、驾驭知识来解释或解决问题的过程,具备科学论证能力的青少年在面对观点分歧

和概念冲突时,能够激发个人已有知识经验,利用证据和推理获得对知识更加全面、深入的理解,促进青少年建构个人对科学概念和科学知识的独特理解。例如酷安(Kuan)等人的研究表明,参与论证有助于青少年建构对化学反应特点和规律的理解^[7]。此外,青少年还需要与持有不同观点的同伴辩论,反思相异观点及其论证过程的合理性,并将他人观点、推理中合理部分纳入个人已有的知识体系中,从而加深自身对知识的理解,实现更深层次的反思性学习。例如贝尔(Bell)和林(Linn)研究发现,通过观察其他同学提出的论点和参与群体科学论证,青少年对光这一概念的理解有显著的进步^[8]。佐哈(Zohar)等人同样研究发现,与未参加科学论证的对照组学生相比,参与科学论证活动的学生对遗传学知识的理解更深刻,测试成绩也更高^[9]。

2.2 有助于青少年掌握科学语言

“科学语言指对科学思想、理论、知识等进行表述、加工、交流、记录时,所使用的手段、工具、载体的总称。”^[10]学生对科学语言的应用能力是影响学生科学学习表现的重要因素之一。传统的科学课堂教学中采用比较普遍的对话模式是IRE(Initiation-Response-Evaluation)话语结构模式,即教师发出引导性话语或动作,学生回应,教师对学生的回应进行评价。在IRE对话模式中,教师更侧重于让学生给出正确的答案,不允许学生之间有太多的互动或让学生去思考和表达个人的真实想法^[11]。这种课堂因为缺乏科学论证,所以学生在课堂上很少使用科学语言进行对话互动,这实际上就剥夺了学生借助科学语言来展示个人深入理解概念的机会,学生很难真正掌握并应用科学语言。

科学论证是具有一定结构规范的话语形式,其本质也是一种科学语言。参与科学论

证的过程能够促使青少年卷入科学论证活动，他们可以按照科学论证的基本范式来建构观点并在书面论证和口头论证两种不同的科学论证形式中运用科学语言。此外，在观点协商的过程中，具备科学论证能力的青少年需要根据科学论证的范式来清晰、合理地呈现个人观点，也要基于相异观点的薄弱点用规范合理的科学语言来反驳对方，这个过程有助于青少年进一步深入掌握并运用科学语言。当青少年能够掌握并运用科学语言，他们就表现为论证话语数量增多，论证话语质量提升，青少年能够依据科学证据劝说同伴信服自己的观点并在比较观点的基础上，反思质疑、有效回应^[12]。

2.3 有助于青少年发展科学思维

科学思维是“具有意识的人脑对自然界中的事物（包括对象、过程、现象、事实等）的本质属性、内在规律及自然界中事物间的联系和相互关系的间接的、概括的和能动的反映”^[13]。具体来说，科学思维包括比较与分类、归纳与演绎、分析与综合、抽象与概括、批判性思维等^[14]。

培养青少年的科学论证能力能够使青少年处理已获得的数据，包括对数据进行筛选、比较、分类等，并经过进一步的归纳、分析、概括来建构论点。在这一过程中，青少年需要权衡证据的质量，思考证据如何支持观点以及如何清楚地表达观点，从而促进青少年多种科学思维的发展。此外，青少年在此过程中还需要与同龄人进行辩论，不断地反思个人的论点和论证过程，而库恩研究发现，同龄人之间的论证会显著提高学生推理的质量^[15]。因而在培养青少年的科学论证能力的过程中，尤其要为青少年提供辩论的机会，这样能够发展青少年的批判性思维，提升青少年的推理能力。

2.4 有助于青少年理解科学本质

科学本质探讨的是科学的本质属性及特征，是科学知识发展过程中固有的价值观和假设^[16]，涉及科学知识的本质、科学方法过程和方法的本质、科学事业的本质等方面。加深青少年对科学本质的理解是当前科学教育关切的重要目标，也是提升青少年科学素养的重要方面。培养青少年的科学论证能力，能够改善青少年对科学本质的认识^[8]，形成适切的科学本质观。

在科学领域，几乎所有的科学发现都需要经过不断的科学论证的过程，“科学理论是科学家们建构概念、评价其他理论、解释文本、形成论证并评估理论”^[17]等一系列过程中形成和发展的。在科学知识的本质方面，参与科学论证能够使青少年亲身经历观点的提出、反驳、推翻和证实的过程，从而理解科学知识具有暂时性和可变性。在科学过程和方法的本质方面，青少年能够深刻体会到科学需要证据和解释，科学探究并非唯一的科学方法，进而理解科学方法所具有的多样性。在科学事业本质方面，科学论证能力的培养能够使青少年认识到科学是一项复杂的社会活动，科学与技术、社会和环境之间具有密切关系。尤其是在讨论科学社会议题的过程中，青少年可以深刻理解语言、文化、社会互动在知识建构过程中所发挥的作用。

叶瑞克（Yerrick）在培养高中生科学论证的能力过程中发现，学生对科学知识本质的理解有了明显的提升^[18]。柯施费（Khishfe）在基于社会科学议题培养青少年科学论证能力的过程中也发现，当青少年反驳相异观点时，他们需要了解并分析多种观点，从而理解科学的主观性；当青少年基于证据建构论点时，他们能够理解科学需要以经验、证据为基础；当青少年展开辩论时，他们需要保

持认知灵活性,从而更易接受科学知识具有暂时性的观点^[19]。

3 青少年科学论证能力培养的目标

青少年科学论证能力的培养是一个渐进的过程,需要考虑青少年不同群体的年龄特征、背景经验等要素。在培养青少年科学论证能力的过程中,可以着重关注如下几方面的内容。

3.1 理解科学论证的基本结构和要素

掌握科学论证的基本结构和要素是青少年建构科学论证能力的重要基础。当前,麦克尼尔(McNeil)改编的CER(Claim-Evidence-Reasoning Framework)框架在科学教育领域具有较高的认可度。在CER框架中,科学论证的基本要素包括三部分,即观点、证据和推理。观点是对论证问题的回答;证据是构建和捍卫观点的科学证据,证据既可以直接探究和观察获得,也可以来自书本;推理则是在观点和证据之间建立联系的纽带,即解释证据为何或如何支持观点,推理通常是借助科学原理或科学理念来理解数据。反驳是科学论证的高阶元素,它需要依据证据和推理来揭示相异观点的薄弱处^[20]。

培养青少年的科学论证能力,应使青少年对科学论证的基本结构和要素具有较好的感知,他们能够理解科学论证的基本要素的内涵;能够识别科学论证的主张、证据、推理等元素,并且能够据此判断科学论证的质量;能够在建构科学论证的过程中有效地应用科学论证的要素,有意识地寻找支持观点的证据、产生明确的观点、建立证据与观点之间的联系,从而保证科学论证具有规范的结构,提高科学论证的说服力。

3.2 利用推理组织证据并建构明确且合理的观点

推理是证据和观点之间的桥梁与纽带,推

理应解释证据为何或如何支持观点。青少年在科学论证活动中,经历的是知识自下而上的生成过程,即青少年需要先处理大量的数据,之后通过推理来形成观点。因此,培养青少年的科学论证能力,要关注青少年能运用科学知识来对已获得的数据进行筛选、加工形成证据,并进一步利用推理来分析证据,以得到明确、充分的、具有解释力的观点。

3.3 识别科学论证的薄弱点并合理反驳

反驳能力是科学论证能力的高阶水平,是培养青少年科学论证能力的较高级别的目标。按照皮亚杰的认知发展阶段理论,处于形式运算阶段的初高中学生思维具有抽象性,能够进行更加复杂的信息加工。培养青少年的科学论证能力应逐步使青少年识别自身科学论证的薄弱点,从多个视角来反思科学论证的过程,不断地进行修正完善;逐步学会识别他人科学论证的不足,站在对方的立场上来考虑观点、证据、推理的不足,再次经历分析数据、形成证据、建构观点的完整论证过程以进行合理反驳。

4 培养青少年科学论证能力的教学策略

尽管我国的课程标准中已经开始强调学生的科学论证能力,但教学实践状况并不尽如人意,已有研究发现了教学实践中的诸多不足,主要表现为:教师的科学论证教学水平普遍不高,教师对科学论证结构要素的讲解不完整,尤其缺少反驳这一要素^[21],课堂话语以非论证话语为主,即使出现论证话语,教师也较少引导学生进行推理、反驳^[22];学生对科学论证的结构认识不清,虽然能够将观点和证据建立联系,却难以把握高阶论证能力所需要的技巧等。为了进一步提升学生科学论证能力的培养效果,我们认为在教学中可以运用如下教学策略。

4.1 营造良好的科学论证学习环境

良好的学习环境是培养青少年科学论证能力的重要保障条件。在自由、宽松、安全的环境下，青少年更容易表达真实的想法。

首先，教师应认识到青少年是合理知识和观点的生成者、建构者。教师应尊重青少年的学习自主权，为青少年创设争论的环境，提供充分的对话时间，使青少年有机会卷入并参与科学论证实践进而体会知识生成的过程。

其次，教师应巧妙隐蔽地为学生提供论证的榜样示范，通过教师自身展开科学论证的对话范式，为青少年提供科学论证的学习榜样。教师还应发挥引导者的角色，引领青少年在对话中提供证据来证明自身观点，努力构建以协作和观点共享为特征的课堂学习共同体环境，鼓励青少年在学习共同体中协商观点，达成一致。

在科学论证教学过程中，青少年需要与同伴之间对话、论证来建构观点，这对课堂对话环境带来了较大的挑战。混乱的教学环境不利于青少年专注于论证本身，阻碍其科学论证能力的发展。因此，教师应在学生开始讨论之前，帮助青少年明确讨论的要求，营造有序的学习环境以保证论证活动的效果。

4.2 精心设计科学论证教学内容

科学论证教学内容是开展科学论证教学的载体，精心设计科学论证教学内容是保证科学论证教学效果的重要前提。

第一，选择具有论证价值的教学内容。教学内容的论证价值体现在教学内容契合开展论证的要求，并与青少年的论证能力密切相关。例如，围绕青少年的迷思概念来设计科学论证教学内容，更容易使青少年在学习过程中产生认知冲突，这种认知冲突就可以引发学生的讨论、求证、解释、反驳等论证活动，从而使学生在亲历论证过程的基础上

获得对科学概念更深入的理解。

第二，自主设计具有可论证性的教学内容。教学内容的可论证性体现在其能够引发青少年产生不同的观点，为学生之间发生科学论证创造条件。例如，恐龙灭绝具有气候变迁说、大陆漂移说、行星撞击地球说等不同的解释，教师可以为青少年提供与不同学说相关的背景材料，鼓励青少年寻找证据、进行推理来支持自己的观点，并引导其与持有不同观点的青少年展开辩论。

第三，选择合适的社会科学议题。社会科学议题是开展科学论证教学的重要材料，但是并非所有的社会科学议题都适合用来培养青少年的科学论证能力。在教学中，可以选择与青少年的日常生活息息相关的社会科学议题作为教学内容，将学习内容与青少年的日常生活建立联系，就能够更好地调动他们的个人经验和已有知识开展科学论证，从而获得更深刻的体验。在选择社会科学议题作为教学内容时，还需注意难度适中，因为社会科学议题对学生的知识储备要求较高，所以教师应对教学内容进行选择或适当加工，使其符合青少年的知识背景和能力经验水平。

4.3 合理使用科学论证教学模型

科学论证教学模型是教师开展论证教学的重要辅助工具。当前，国际科学教育领域中有众多科学论证教学模型，如基于论证的探究教学模型（The Argument-Driven Inquiry Instructional Model, ADI）、科学协商教学模型（Science Negotiation Pedagogy, SNP）、PCRR（Present、Critique、Reflect and Refine）等。不同的教学模型的侧重点不同，在教学实践中应注意合理使用。

以 ADI 模型和 SNP 模型（见图 1、图 2）为例，ADI 将论证教学与探究学习进行了有机结合，即将科学论证渗透在科学探究的活动过程中，使其成为青少年掌握科学知识的工具。

SNP 模型则是将科学论证和科学建模进行了有机结合。

可见, ADI 科学论证教学模型和 SNP 科学论证教学模型均将科学论证融入教学中, 其实质是以青少年掌握科学内容为主要目的, 科学论证则作为青少年掌握科学知识与内容的工具, 在教学过程中渗透对科学论证结构要素的讲解。同时, 两种科学论证教学模型的侧重点和适用内容有所不同, ADI 模型整合了科学论证与科学探究、实验, 适用于具有探究性质的教学内容, 例如探究摩擦力与物体重力的关系等。SNP 教学模型则适用于需要借助科学建模学习的内容, 如学习 DNA 结构模型。

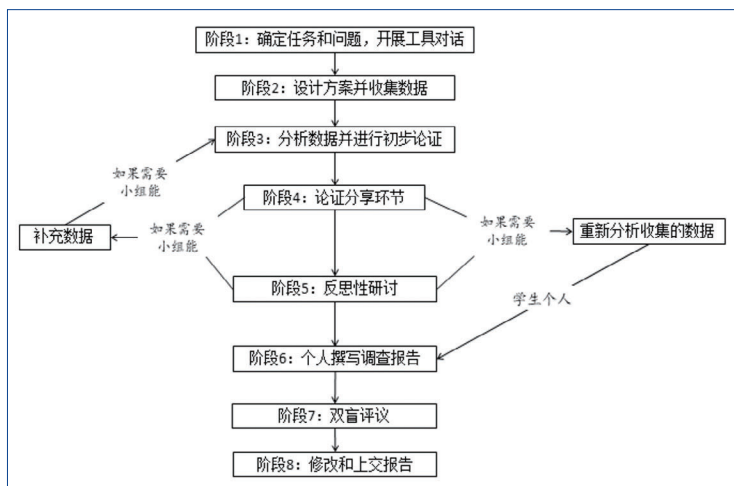


图 1 ADI 科学论证教学模型图 [23]

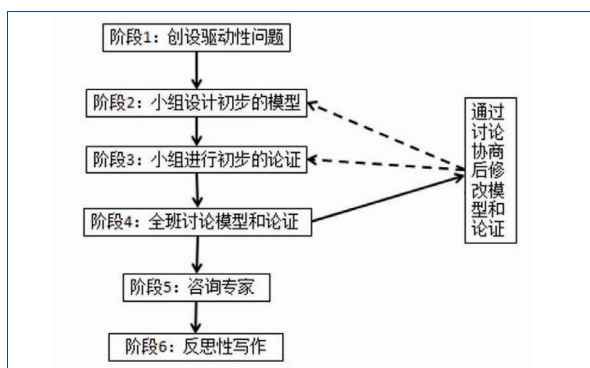


图 2 SNP 科学论证教学模型图 [24]

4.4 有效利用科学论证教学支架

识别论点、发现论证的薄弱点是青少年科学论证能力提升的难点。为帮助青少年明确自身与对方观点, 并清楚呈现支持观点的

证据和推理, 提高培养青少年科学论证能力的效果, 教师可以通过学习单、论证图等方式为青少年搭建学习的支架。

学习单是教师用来培养青少年科学论证能力的支架之一。教师可以运用学习单设计“我的问题是什么”“实验中我做了什么”“实验中我看到了什么”“我能推断什么”“我如何得出观点”“我的想法与其他想法比较有什么不同”“我的观点想法改变了吗”^[25]等一系列问题来帮助青少年明确自身的观点与证据, 理清观点和证据之间的关系。

论证三角图 (Argumentation Vee Diagram, AVD) 也是教师用来培养青少年科学论证能力的支架之一。AVD 通过有形的图标呈现正反论点, 帮助青少年对讨论的话题有更加全面的认识。AVD 还能够将青少年内隐的思维活动和推理过程外显出来, 使论证过程可视化, 帮助青少年明确不同观点的证据与推理过程, 厘清论证思路。努斯鲍姆 (Nussbaum) 借助全球变暖的案例, 将 AVD 应用于教学之中。

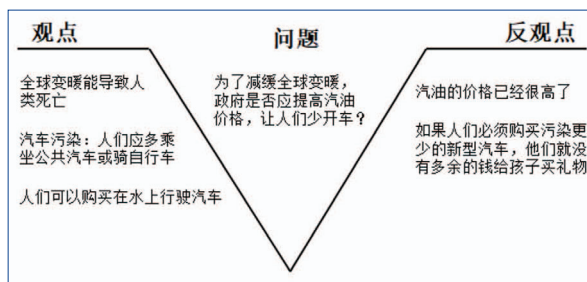


图 3 论证三角图 (AVD 图) [26]

如上案例中, 教师还将 AVD 与学习单有机结合, 借助学习单来辅助教学。教师就科学论证的合理性、科学论证的可能性、创造性的问题解决方案以及是否有其他的解释或相反的证据提出疑问, 青少年围绕全球变暖的问题综合考虑正反双方的观点和推理, 从而形成一个整体综合的论点。

表 1 AVD 的辅助学习单

	圈出是或否	哪个论点？
哪个论点不太重要吗？	是 否	
哪个论点不可能？	是 否	
论证的问题是否有创造性的解决方案？	是 否	
解决方案具有可行性吗？（考虑成本）	是 否	
你能想到其他可能的论点或者反驳的证据吗？	是 否	

4.5 灵活运用科学论证的评价标准

科学论证的评价标准对科学论证能力的培养发挥着重要的导向、诊断作用。教师在教
 学的过程中可以灵活运用科学论证的评价标准，
 既可以发挥评价标准本身的功能，也可以将评
 价标准转化为教学内容渗透在教学之中。

目前，国际科学教育领域对科学论证能力
 的评价主要关注的是科学论证的形式和科学论
 证的质量两个方面。在科学论证的形式方面，
 教师可以根据结构元素是否完整和结构元素的
 数量来判断青少年的科学论证能力。教师也可
 以在日常教学中适当讲解科学论证结构元素的
 概念、科学论证的结构规范，并通过呈现结构
 良好的科学论证案例来帮助青少年把握科学论
 证的基本要求，明确科学论证的评价标准，从
 而培养青少年科学论证的能力。

在科学论证质量评价方面，可以关注青少
 年思考推理的质量，解释如何使证据与观点之

间因果关系一致。此外，桑普森
 （Sampson）确立了三个评价原
 则。①经验原则：观点与现有的
 证据相符；证据充足；证据具有
 相关性；收集数据的方法恰当。
 ②理论原则：观点充分；观点具有解释力且
 适用于多数情况；观点由可接受的理论或原
 则组成。③分析原则：分析数据的方法恰当；
 对数据的解释合理；理由充分^[27]。教师在教
 学的过程中也可以参考这类评价标准，不断
 提升青少年的科学论证能力。

5 结语

面对新形势和新挑战，我国科技创新人
 才的培养任重道远。青少年作为科技创新人
 才的主体，其科学素养的养成和提升是当下
 全社会关切的重要命题。青少年的科学论证
 能力是青少年科学素养的重要组成部分，我
 们应当进一步深入探讨青少年科学论证能力
 的发展特征和养成规律，在教育教学中践
 行提升青少年科学论证能力的路径和策略，
 为切实提高我国青少年的科学素养奠定坚实
 的基础。

参考文献

[1] National Research Council. A Framework for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas[M]. Washington, DC: National Academies Press, 2012: 3–18.

[2] 邓阳. 科学论证及其能力评价研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.

[3] 潘瑶珍. 基于论证的科学教育 [J]. 全球教育展望, 2010, 39(6): 82–86.

[4] Allchin D, Zemplén, GÁ. Finding the Place of Argumentation in Science Education: Epistemics and Whole Science[J]. Science Education. 2020(5): 907–933.

[5] Eemeren F V, Grootendorst R. A Systematic Theory of Argumentation: The Pragma–dialectical Approach[M]. New York: Cambridge University Press, 2004.

[6] 郑颖, 张军朋, 张玉发. 高中生物理科学论证能力表现——基于 Rasch 模型的测试评价 [J]. 物理教师, 2019, 40(1): 2–6.

[7] Yeh K H, She H C. On–line Synchronous Scientific Argumentation Learning: Nurturing Students’ Argumentation Ability and Conceptual Change in Science Context[J]. Computers & Education, 2010, 55(2): 586–602.

[8] Bell P, Linn M C. Scientific Arguments as Learning Artifacts: Designing for Learning from the Web with KIE[J]. International Journal of Science Education, 2000, 22(8): 797–817.

（下转第 35 页）

- (编辑 颜 燕)

- (编辑 颜 燕)

Ways to Cultivate Teenagers of Scientific and Technological Innovation Quality

Hu Weiping

(Key Laboratory of Modern Teaching Technology, Ministry of Education,
Shanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract: In view of the problems existing in the cultivation of young people's scientific and technological innovation quality, based on the experience at home and abroad as well as more than 20 years of research and practice, this paper explores and puts forward the ways to cultivate young people's scientific and technological innovation quality, mainly including: creating a creative environment, implementing Thinking-Based Instruction, promoting curriculum reform, carrying out early training of top-notch talents and cultivating creative teachers.

Keywords: young people; scientific and technological innovation quality; training way

CLC Numbers: G623.6 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2020.06.001

Thinking on Teenagers' Scientific Argumentation Ability and Its Training Strategies

Gao Xiaoyi Liu Wenli

(Faculty of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: Scientific argumentation is an important part of the current development of science education. Enhancing teenagers' scientific argumentation ability plays an important role in enhancing their scientific literacy. In order to improve teenagers' ability of scientific argumentation, it is necessary to enhance their understanding of the basic structural elements of scientific argumentation, and purposely direct them to the ability to organize evidence and construct opinions by reasoning, identify weak points of scientific argumentation and reasonably refute them. The teaching strategies of cultivating teenagers' scientific argumentation ability mainly include creating a good environment for scientific argumentation, elaborately designing the teaching content of scientific argumentation, reasonably using the teaching model of scientific argumentation, making effective use of the teaching support of scientific argumentation, and flexibly applying the evaluation criteria of scientific argumentation.

Keywords: scientific argumentation ability; scientific literacy; training strategies

CLC Numbers: G623.6 **Document Code:** A **DOI:** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2020.06.002

Cultivation of Young Scientific and Technological Talents in Informal Education: Status Quo, Issues and Countermeasures

Zhu Jiahua Zhou Yulin Song Juan

(School of Life Sciences, Linyi University, Linyi 276000)