

情境式探究論證導向教學提升國中生STEM素養之成效

鄭立婷¹ 魯盈謙² 洪瑞兒^{1,*} 許文怡¹

¹高雄醫學大學 通識教育中心

²高雄醫學大學 校務研究暨企劃辦公室

摘要

本研究目的在探討情境式探究論證導向科學、技術、工程和數學領域(Science, Technology, Engineering, Mathematics, STEM)教學提升國中生STEM素養之成效。本研究於高雄市選取某國中49位國一學生，參加一學期12週次情境式探究論證導向STEM教學，再以立意取樣選取8位在STEM能力測驗前測分數前15%學生及8位在STEM能力測驗前測分數後15%學生為目標學生，每週撰寫學習單及教學介入後實施個別訪談；並隨機選取該校一年級30位學生為對照組，實施一般自然科教學。所有參與學生於進行教學介入之前及之後分別填寫STEM學習參與度量表、STEM自我效能量表及STEM能力測驗，以瞭解實驗組與對照組學生在STEM素養的差異。經由共變數分析發現實驗組學生在STEM學習參與度、STEM自我效能及STEM能力總分及各分向度分數都顯著高於對照組學生。再經由不斷比較法分析發現，開放的學習環境、具挑戰的任務及良好的合作關係，能促發目標學生更願意參與科學活動；受到教師肯定、自覺學業成績進步、上課有收穫、自我成長時，國中生的STEM自我效能會顯著提升；透過對話論證有助於澄清學生知識概念，誘發學生全面思考，能從情境中深入探討生活中運用的知識，並有效釐清學生的科學概念。本研究發現可作為未來提升STEM素養課程、教學及未來相關研究的參考。

關鍵詞：STEM自我效能、STEM能力、STEM參與度、情境式探究論證導向STEM教學

壹、研究背景與目的

科學、技術、工程和數學領域(Science, Technology, Engineering, Mathematics, STEM)是目前歐美許多國家正在推動的關鍵領域，它們的研發能量正是21世紀最具國際競爭力的指標。Lawrenz, Gravemeijer與Stephan (2017)提到STEM亟待相關領域專家學者一同努力來提升

學生具備未來國際競爭力。而規劃哪些課程與應用甚麼教學策略才能有效幫助學生掌握未來的社會脈動與國際趨勢，正是各國學者努力研議與突破的重點(楊桂瓊、陳雅君、洪瑞兒、林煥祥，2015)。雖然STEM對於未來(STEM-for-future)的重要性已被許多先進國家所確立，但歐美各國也同時面臨一個嚴重的問題是年輕

*通訊作者：洪瑞兒，a3803429@gmail.com

(投稿日期：民國110年8月3日，修訂日期：民國110年11月30日，接受日期：民國110年12月1日)

人不再對科學研究行業感到興趣，多半年輕人重視的是穩定而舒適的將來。根據我國行政院主計總處(2018)統計資料顯示，近20年來臺灣產業結構產生極大的變動，服務管理業成為許多學生畢業後最喜歡選擇的行業，此情境下影響高中學生在大學選擇就讀理、工、科技為主修領域的比例有逐年下降的趨勢，此現象和世界各國發展趨勢相符。

國內外許多研究指出國中時期是科學學習興趣、學習動機及自信心急遽陡降的關鍵期，而科學學習興趣、動機及自信心正是顯著影響國中生未來繼續選修科學、數學與技術為主修或是從事STEM相關的職業(鄭瑞洲、洪振方、黃台珠，2011；Hong, 2010; Hong & Lin, 2013; Hong, Lin, & Lawrenz, 2012; Hong, Lin, Wang, Chen, & Yang, 2013)。教育部雖然於「十二年國民基本教育課程綱要」(108新課綱)強調：十二年國教之核心素養在於培養以人為本的終身學習者，亦即學習不再以學科知識和技能為限，應培養學生具備問題理解、獨立思考與分析、進行探究以及推理批判的知能，以有效處理及解決生活中的問題，達到學習者的全人發展。然而就以臺灣十年來參與經濟合作發展組織(Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD])舉辦之國際學生能力評量計畫(Program for International Student Assessment, PISA)結果來看，我國學生在PISA 2006與PISA 2015年的平均成績雖然相同(平均表現532分)，且排名都是第4名，但標準差卻由94分增加到100分，顯示臺灣15歲學生的科學素養個別差異變大，尤其是低於層級2的學生比率提高(PISA 2006占11.6%，PISA 2015占12.4%)，此結果對於我國提升國際競爭力有極大的隱憂(余曉清、林煥祥，2017)。

除此之外，由PISA 2015年結果可以發現，臺灣學生的科學能力平均成績與排名雖

然亮眼，但是在對學習科學的態度部分，表現卻不甚理想(余曉清、林煥祥，2017)。我國科學教育的目標期望學生成為社會公民時，能獨立思考與分析、探究及批判，以解決未來生活中所遇到的各種問題。有鑑於青少年正面臨科學學習興趣陡降的時期，如何扭轉這個趨勢，讓青少年對於STEM領域建立正向態度且願意接觸STEM領域，這是本研究探究的主軸。再者，若只強調STEM領域中的知識與技能，對於青少年選擇主修STEM及從事STEM領域職涯發展仍有不確定性。Pugh, Linnenbrink-Garcia, Koskey, Stewart與Manzey (2010)研究指出，教學與學生經驗聯結能增加學生的學習興趣及參與度(engagement)，故本研究之目的乃透過創新且實際操作的「情境式探究論證導向STEM教學模組」(contextual-based inquiry-driven argumentation STEM teaching model)，以提升學生的STEM素養。據此，本研究待答問題如下：

- 一、「情境式探究論證導向STEM教學模組」教學介入提升國中生STEM素養成效如何？
- 二、目標學生參加「情境式探究論證導向STEM教學模組」在STEM素養的改變情形為何？

貳、文獻探討

一、統整STEM素養的重要性

臺灣現行教育體制最為人所詬病的，便是過度重視學習學科知識而缺乏整合、實務應用知識的能力。過去學校的學科都是單獨科目授課，已不符合STEM世代的需求，因應未來的社會挑戰和職業巨大變遷，最好的解決方式便是提升跨領域能力(Lawrenz et al., 2017)，STEM之所以在美國與澳洲科學教育受到重

視，原因在於它是一門整合科學、技術、工程、數學的跨領域學科，它的課程設計與目前的科學發展相關，並在實作與討論的過程中，讓學生能瞭解概念性知識的應用及程序性知識的練習，同時增加同儕間團隊合作及提升學生的創造力(張玉山、楊雅茹，2014)。

美國國家工程院(National Academy of Engineering)與美國國家科學研究院(National Research Council [NRC])指出STEM素養是融合科學、技術、工程和數學素養，而所謂的融合不是指知識內容的合併，而是指跨領域知識與能力的綜合運用(Honey, Pearson, & Schweingruber, 2014)。STEM領域的工作者整合、應用了不同領域的概念與技能，比如工程師建造、模擬可能的設計方案或問題解決方式時，使用了科學知識與數學推理等知識

技能(Honey et al.)。於是，相較於以前著重單一科目的教學，STEM課程設計希望更貼近相關領域現場的工作情形，也就是在實作與討論的過程中，提供學生機會練習整合、應用概念性及程序性知識，並提升學生對於STEM領域的正向態度(張玉山、楊雅茹，2014；Honey et al.)。

由此可知，STEM素養是跨學科整合的議題。若分別探討科學、技術、工程、數學的素養，可以發現儘管依學科知識的特性而有差異，但綜合四領域的教育核心理念，則可以定義出STEM 課程的目標和期望。Falloon, Hatzigianni, Bower, Forbes與Stevenson (2020)統整對STEM教育期望的文獻，彙整出一個提升幼稚園到高中三年級(K-12)學生STEM素養的教學架構(圖1)，架構圖反映了

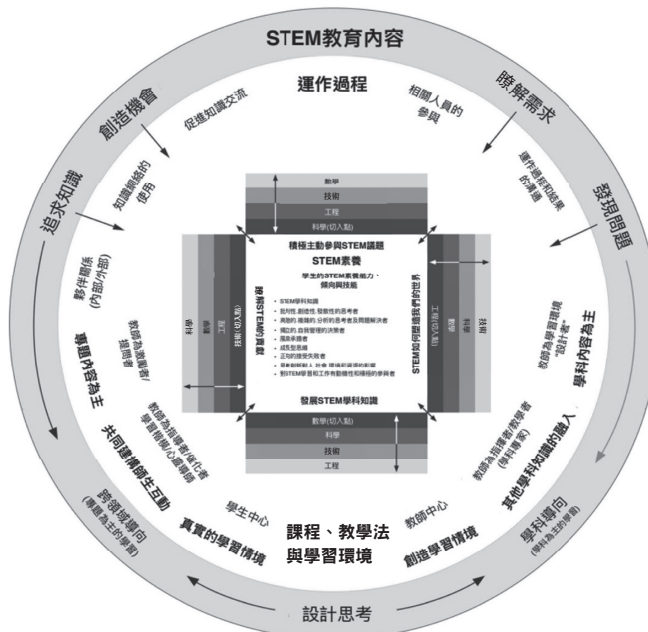


圖1：發展K-12學生科學、技術、工程和數學領域(Science, Technology, Engineering, Mathematics, STEM)素養的教學架構

資料來源：“Understanding K-12 STEM education: A framework for developing STEM literacy,” by G. Falloon, M. Hatzigianni, M. Bower, A. Forbes, & M. Stevenson, 2020, *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), pp. 369-385.

參與對學生學習有重要影響之外，學生個人的自我效能也會影響學生的學習成效和學習行為。Kupermintz (2002)指出影響學生科學學習表現的因素有很多，其中學生對於接觸科學時所擁有的自我效能程度可以被視為一項相當重要的潛在影響因素。Bandura (1986)提出自我效能理論，係指「人們對於自己能完成某項任務與工作挑戰的信心程度」。Maddux (1995)進一步指出當個體對某項工作擁有較高的自我效能感，會更積極主動地去參與該活動，並努力去克服所有的困難以完成任務。這與Falloon等(2020)所提STEM素養中的「成長型思維」與「正向的接受失敗者」的看法相近。此外，Godding與Glasgow (1985)則認為，自我效能是個體針對特定領域中處理特定事物能力的目標評估，而科學學習領域可視為一種特定領域，因此「科學自我效能」係指學生本身評估在科學環境的知覺下，能完成科學學習並獲得科學素養能力的表現(何仕仁、黃台珠、吳裕益，2007)。

聯合國教科文組織(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)的國際教育局(International Bureau of Education)將能力定義為在21世紀環境中能夠交互調配及合理地使用知識技能、價值觀、態度和技術，且有效參與和採取行動，以實現個人、集體和全球利益的發展能力(Marope, Griffin, & Gallagher, 2019)。換句話說，能力被定義為一種發展能力，而不是一組固定技能，它不該局限在單一的知識體系內(例如：物理、化學)。更明確的說，STEM能力涵蓋與學科相關的知識、態度和價值觀，也同時涵蓋應用該知識的技能(Ng, 2019)。具有STEM能力的專業人士能夠有效地使用STEM知識、技能和態度來執行技術或專業任務。同樣的，具有STEM能力的公民能夠在日常生活中運用STEM知識與技能改善自

己的生活，亦是本研究期待學生能夠學習的能力。Ng提出STEM知識包括STEM學科相關的認識論知識、程序知識和技術知識，並理解其中相關的思想、概念、原則和理論的關聯，教師應該引導學生學會程序性知識，使他們能夠自行探索STEM的原理和應用。

上述文獻指出科學自我效能可被視為增進學生科學學業表現，以及科學參與投入意願的主要因素之一，研究者認為與科學關係密切的STEM應有類似的相關，對於STEM的自我效能與參與度，也會影響學生在STEM能力上的表現，而如何透過有效的課程與教學來提升國中學生的STEM自我效能、STEM參與度和STEM能力，亦是值得我們進一步去深入研究的議題。

三、情境式探究論證導向STEM課程理論基礎

本研究整合科學、技術、工程、數學的學科，提供學生所需要瞭解的STEM相關知識與生活情境，讓學生透過對話進行論證、設計探究實驗，應用STEM能力來關注並解決問題，以提升國中學生STEM學習參與度、自我效能及STEM能力。由於STEM在各自領域中蘊含的知識與能力層面極廣，對於國中生而言，必須聚焦在他們能夠理解與常用的範圍(Zandvliet, 2018)。因此，本研究的「情境式探究論證導向STEM課程」將科學設定在PISA 2015對科學素養評量的重要內涵：科學知識與能力(OECD, 2013)，知識概念則以臺灣國中一年級學生能理解的滲透作用作為課程切入點。技術則以Mitcham (1994)對技術的四大概念：實體(technology-as-object)、過程(technology-as-process)、知識(technology-as-knowledge)和意志(technology-as-volition)，將知識經由過程的轉化而形成產品。讓學生探討在不同領域(例如：食品、生物醫學)如何將

滲透作用的知識轉化成該領域研發的產品。工程則以NRC (2012)定義的「任何參與系統設計實踐，以實現特定人類問題的最佳解決方案」為依據，引導學生進行問題解決之工程思維。數學以PISA 2015所定義的數學素養：指個人能在各種不同情境下，將情境問題轉化成數學問題、使用數學及詮釋數學的能力。包括了數學推理及使用、應用數學概念、程序、事實、工具來解釋、描述及預測現象(OECD)。運用在本課程則有數據與圖表的轉換詮釋、推理計算的邏輯思維等。

探究與論證的結合是近年來作者教學研究團隊致力重點之一，例如：Chen, Wang, Lu, Lin 與Hong (2016)、Chen, Wang, Lu與Hong (2019)修改自Sampson與Walker (2012)的論證導向探究教學模式(argument-driven inquiry instructional model)，提出適合國小學童之「改良式論證導向探究教學模式」(Modified Argument-Driven Inquiry Teaching Approach, MADi)，包含定義焦點任務(identifying a focus task)、確定研究問題(identifying related research questions)、提出假設(making hypotheses)、設計實驗(designing an investigation and procedures)、蒐集數據(collecting data)、提出證據導向之結論(providing evidence-based conclusions)及分享與批判(forming and sharing the group arguments and critiquing and refining)等步驟(Chen et al., 2016, 2019)。在MADi教學過程中，教師提出開放性和較高層次的問題，能顯著提升國小學童學習科學興趣、探究及論證能力。由於本研究對象為國中一年級學生，因此除了以論證導向探究教學模式為基礎外，再進一步結合適合國一學生生活情境，發展「情境式探究論證導向STEM教學模組」來提升學生的STEM素養。

本研究從Falloon等(2020)所提出的STEM

素養擷取其中六項作為培育重點，為更具組織性的呈現，研究者將學生STEM素養質性資料的分析結果整合成四大項，其中「對STEM學習和工作有動機和積極的參與者」與研究問題所欲探討的「STEM學習參與度」一致；而「成長型思維」與「正向的接受失敗者」與探討「STEM自我效能」相符；「批判性、創造性、發散性的思考者」與「高階的、複雜的、分析的思考者及問題解決者」合併成「不同的思考與問題解決能力」，而「STEM學科知識的成長」則用來探討本研究所設計之課程對國中生STEM探究論證能力之影響。

參、研究方法

一、研究對象

本研究於高雄市隨機選取某所國中共計49位國中一年級學生為實驗組，並隨機選取同校一年級30位學生為對照組參與本研究，利用每週二第八節課後進行教學。本研究進行的場域位於高雄市西南部，是一所中型國中，學生人數約1,000人，多數家長的社經地位屬於中等，全校為常態編班。實驗組學生一學期參加12週每次兩小時的情境式探究論證導向STEM教學介入(附錄一)，對照組學生則參與12週的「STEM課程傳統教學」(含講述及食譜式實驗)。實驗組教學者具備STEM教育專長，有2年國中教學實務及12年國小教學實務經驗；對照組教學者具備自然科學教育專長，為該校自然科教師，有10年以上國中教學經驗。本研究再以立意取樣選取8位在STEM能力測驗前測分數前15%(高分組)學生，及8位在STEM能力測驗前測分數後15%(低分組)學生，在教學結束後進行個別深度訪談，以進一步瞭解實驗組學生在12週次的教學介入後STEM素養的改變軌跡。

二、教學研究設計

本研究進行「情境式探究論證導向STEM教學模組」之前和結束後，分別實施前測與後測，以瞭解實驗組及對照組國中學生在STEM素養的差異。實驗組學生每週實施一次、每次兩節課「情境式探究論證導向STEM教學模組」教學介入。本教學模組架構係參考Falloon等(2020)的「發展STEM素養之教學架構」，發展成如圖3所示之模組，以「滲透作用在科技上的運用」為專題，讓學生從科學知識——滲透作用為切入點，探討糖漬檸檬(食品科技)、水晶土(園藝科技)、酒精殺菌與乾洗手(生醫科技)等日常生活情境中最常接觸的問題與知識，最後以滲透作用的未來科技創意發想作為總結，讓學生對滲透作用在未來的科技發展中創造競爭的機會。本研究的「情境」設計是以國一學生生活經驗有關的STEM議題，例如：近期因為新型冠狀病毒(Coronavirus disease, COVID-19)，各種環境用藥充斥市面，使用酒精消毒是目前認為有效的自保方式之一，但如何選擇殺菌效果

最佳的酒精比例，則可以透過設計可信度高的實驗證明。「探究」活動即是引導學生從定義焦點任務、確定研究問題、提出假設、設計實驗、蒐集數據……的過程。而在探究的過程中，由於學生各自的經驗不足，必須透過對話、論證的方式來澄清想法，因此在自行設計實驗及發表的過程，都會讓學生進行提問與討論，例如：在個別設計實驗或測試方法之後，學生必須交換所撰寫的方案，各自閱讀對方的內容，對撰寫者提出疑問或建議，撰寫者必須根據提問者的問題給予回答，或是對於建議(意見)做出接受或維持原本想法的辯護。也就是「論證」的過程中，學生的提問如果不够明確，教師會引導學生將想法說得更清楚，並協助學生精煉他(她)們的提問。如果學生回答得不够完整，教師也會將提問分成幾個小問題，引導學生回答每一個小問題，再統整成更完整的答案(Chen et al., 2016, 2019)。經過澄清想法，再一次修正設計並實際動手操作，並獲得最佳殺菌效果的酒精比例初步結果。接著，進一步探討酒精性乾洗手在何種情況下因應而生？這類產

時程(週)	1~2		3~5		6~7		8~10		11~12		
整合領域	SM		STM		STEM		STEM		STE		
課程起點	知識		需求		發現問題		發現問題 & 需求		創造機會		
課程內容	滲透作用		糖漬檸檬		水晶土		酒精殺菌與乾洗手		滲透作用的未來科技		
課程涵蓋之STEM素養	STEM學科知識										
	批判性、創造性、發散性的思考者										
	高階的、複雜的、分析的思考者及問題解決者										
	成長型思維										
	正向的接受失敗者										
對STEM學習和工作有動機和積極的參與者											

圖3：情境式探究論證導向STEM課程之主題與素養內涵

註：SM：科學、數學(Science, Mathematics)；STM：科學、技術、數學(Science, Technology, Mathematics)；STEM：科學、技術、工程、數學(Science, Technology, Engineering, Mathematics)；STE：科學、技術、工程(Science, Technology, Engineering)。

品的配方依據為何？並讓學生實際製作酒精性乾洗手，並思考製程中遇到的問題以及可行的解決方案。

從前述例子可知，本教學模組聚焦於Falloon等(2020)所提出STEM教育內容：追求知識、瞭解需求、發現問題以及創造機會，並以該研究整理出的STEM素養擷取其中六項作為培育重點，包括：「STEM學科知識」、「批判性、創造性、發散性的思考者」、「高階的、複雜的、分析的思考者及問題解決者」、「成長型思維」、「正向的接受失敗者」以及「對STEM學習和工作有動機和積極的參與者」。同時包括PISA 2015科學能力素養之重點如：研究問題的說明和定義、構思實驗步驟流程、整合相關聯的學科與知識等。在實作與討論的過程中，提供學生練習整合機會、應用概念性及程序性知識，並接受同儕的提問與挑戰，學習聽取意見及捍衛個人思想應有的修為，以提升國中學生對於STEM領域的正向態度。本研究在教學介入期間分析目標學生每次的學習單，並在教學結束後進行個別訪談，以瞭解實驗組國中目標學生STEM素養改變的軌跡。

三、研究工具發展與效化

本研究發展STEM參與度量表、STEM自我效能量表及STEM能力測驗，首先以隨機取樣選取四所國中共計127位學生進行預試，以檢驗本研究工具的信效度，並精煉成為正式研究工具，三份研究工具詳細的發展與效化過程如下述。

(一)STEM參與度量表

本量表參考PISA 2006、PISA 2015科學興趣量表，再進行信效度檢驗。本量表經由探索性因素分析「STEM參與度問卷」共萃

取出四個因素：因素一「STEM學習毅力」(commitment in learning STEM)共7題，例如：「我希望能瞭解更多STEM相關知識」，解釋變異量為19.93%；因素二「STEM主動學習」(active learning in STEM)共6題，例如：「我會主動參與STEM實驗」，解釋變異量為19.18%；因素三「STEM精熟能力」(mastery ability in STEM)共6題，例如：「我花很多時間來學習STEM」，解釋變異量為16.40%；因素四「樂於學習STEM」(enjoyment in learning STEM)共4題，例如：「我從學習科學中得到樂趣」，解釋變異量為15.73%，總量表解釋變異量為71.24%。此外，本量表以Cronbach's α 係數來檢驗量表的內部一致性，整體量表之Cronbach's α 值為.963，四個分量表「STEM學習毅力」、「STEM主動學習」、「STEM精熟能力」，以及「樂於學習STEM」Cronbach's α 值分別為.961、.962、.961、.962。整體而言，本量表皆呈現良好內部一致性信度及足夠的建構效度(Cohen, 1988)。

(二)STEM自我效能量表

本量表參考並翻譯自Lamb, Vallett與Annetta (2014)和Ketelhut (2011)的“The Scientific Self-efficacy Scale”，經由文化差異比較互譯模式(Brislin, 1986)，再進行信效度檢驗。STEM自我效能量表以探索性因素分析檢驗其建構效度，共萃取出三個因素：因素一「STEM正向情緒」(emotional/physiological arousal in STEM)共6題，例如：「就算科學作業很困難，我還是有辦法做好」，解釋變異量為25.96%；因素二「STEM信念和瞭解」(belief and understanding in STEM)共8題，例如：「在上科學課的時候，能解答同學的問題時我會很有成就感」，解釋變異量為25.83%；因素三「STEM應用和操作」

(application and operation in STEM)共4題，例如：「我知道如何運用STEM來解決生活上的問題」，解釋變異量為15.59%，總量表解釋變異量為67.38%。此外，本量表以Cronbach's α 係數來檢驗量表的內部一致性，整體量表之Cronbach's α 值為.930，三個分量表「STEM正向情緒」、「STEM信念和瞭解」以及「STEM應用和操作」Cronbach's α 值分別為.925、.926、.930。整體而言，本量表呈現良好內部一致性信度及建構效度(Cohen, 1988)。

(三)STEM能力測驗

本研究所使用之STEM能力測驗參考自張惠博與林陳涌(2011)的PISA科學素養評量手冊之試題進行題組編製，雖然PISA試題為評估學生之科學能力，然若細看題目內容，可以發現其情境皆屬於STEM領域範疇。而測驗之科學能力細分為「解釋科學現象」、「評估及設計科學探究活動」及「解讀科學數據及舉證科學證據」。對照Falloon等(2020)所提出的STEM素養，可發現二者有許多不謀而合之處(附錄二)，同時Ng (2019)認為STEM能力是指個人在生活情境中適當應用STEM知識、技能和態度的能力，因此研究者選擇之題組即是在情境中能應用STEM知識的題型，包含「風力發電」及「竹筷與食物的漂白」兩題組。其中風力發電第四題在STEM

能力測驗學生「區分出以科學證據和理論為基礎，或以其他考量為基礎的論證能力」。接著針對兩題STEM能力測驗進行試題分析，所獲得的難易度、鑑別度、信度，以及建構效度如表1。

(四)質性資料編碼與分析

本研究收集的質性資料包含學生問卷的文字敘述題、個別訪談及學習單，訪談內容為瞭解實驗組國中接受「情境式探究論證導向教學」後的STEM學習參與感受、STEM自我效能以及STEM能力(附錄三)。學習單根據PISA 2015提出的科學能力向度，以及Falloon等(2020)所提出的STEM素養發展而成，學習單的內容重點在引導學生發散與收斂思考，有系統地組織自己的想法、評估與設計實驗，以及解讀科學數據。學習單設計後，由一位科學教育專家與一位教育測驗評量專家審閱修訂，再請兩位國中一年級學生閱讀學習單內容，指出較難理解之文字敘述，做進一步修正，最終能符合國一學生的閱讀理解程度。

資料分析根據Glaser與Strauss (1967)提出的不斷比較分析法(constant comparative method)來分析內容。Glaser與Strauss認為分析質性資料時需將內容逐句摘要意義，透過開放性編碼(open coding)的步驟進行質性資料的編碼，先將具有相似概念的意義單元，抽

表1：STEM能力測驗試題分析

題組	問題	難度	鑑別度	信度	建構效度
風力發電	問題一	0.56	0.52	0.88	.75
	問題二	0.45	0.61	0.86	.78
	問題三	0.61	0.49	0.85	.69
	問題四	0.38	0.69	0.79	.73
竹筷與食物的漂白	問題一	0.58	0.47	0.88	.72
	問題二	0.44	0.55	0.76	.65

取更高層次的次範疇概念加以群組，進而形成主範疇，以不斷比較分析法進行將相關概念範疇化，萃取資料分析主軸，將同義的段落歸納為同一概念類別，同時比較概念類別間的關聯性及其從屬關係，持續比較與分析資料，由兩位編碼者分別編碼，編碼者的內部一致性信度Kappa值為.93 ($\kappa > .80$)，表示一致性程度極佳(Cohen, 1988)，編碼分析舉例如表2所示。

肆、研究結果與討論

一、情境式探究論證導向STEM教學介入提升國中生在STEM素養之成效

本研究經由一學期「情境式探究論證導向STEM」教學介入後，針對實驗組與對照組學生在「STEM學習參與度」和「STEM自我效能」的表現進行共變數分析比較兩組學生間之差異。本研究發現實驗組學生在教學介入後，「STEM學習毅力」($F = 7.57$, $p = .008$)、「STEM主動學習」($F = 39.49$, $p < .001$)、「STEM精熟能力」($F = 11.90$, $p = .001$)、「樂於學習STEM」($F = 17.70$, $p < .001$)，以及「STEM參與度總分」($F = 18.30$, $p < .001$)皆顯著高於對照組學生。除此外，本研究發現實驗組學生在教學介入後，「STEM正向情緒」($F = 4.53$, $p = .037$)、「STEM信念與瞭解」($F = 39.41$,

$p < .001$)，以及「STEM自我效能總分」($F = 16.45$, $p < .001$)皆顯著高於對照組學生的表現(如表3)。

為瞭解實驗組學生在參與一學期「情境式探究論證導向STEM教學介入」後，兩組學生的STEM能力的差異，由共變數分析結果顯示：實驗組學生的STEM能力測驗分數顯著高於對照組學生的表現($F = 45.35$, $p < .001$) (如表4)。

二、目標學生參加情境式探究論證導向STEM教學介入在STEM素養的改變歷程

根據實驗組目標學生問卷、個別訪談與每週學習單回饋之質性資料，本研究以不斷比較分析法(Glaser & Strauss, 1967)分析質性訪談內容如下述。

(一)學生在STEM參與度的改變

從問卷的質性回饋、個別訪談及學習單的交叉分析，研究者歸納整理目標學生提升參與度的原因有下述三項。

1. 任務有趣且具有挑戰性

目標學生在個別訪談中均提到，教師所設計的課程任務對他們來說有一點困難，但是會讓他們想要嘗試，當發現自己能夠完成任務時，可以獲得成就感。例如：

S1002：「老師有時候說的東西我

表2：編碼分析範例

內容摘要	意義單元	次範疇	主範疇
S0401：「我會認真思考老師上課的內容，在腦中先把實驗步驟想一遍再進行實驗。」(IS109112010401)	認真思考	學習投入	STEM參與
S1103：「我覺得自己的思考邏輯更有條理，因為之前的想法比較容易錯，就是比較憑直覺，但是不會去想哪裡有問題，但是現在就沒有那麼容易錯，而且同學質疑我的時候，我可以講得更清楚。」(IS109112011103)	能力提升	信念與瞭解	STEM自我效能

以為很簡單，不就這樣，但是開始做的時候又發現有一點難，或是很難，然後和同學討論，老師也會幫忙，然後自己好像就會了……我覺得是那個過程，會讓我覺得有

趣、很好玩，期待下次老師要上什麼。」(IS109101041002)

S0803：「我對上課說的內容都很感興趣，雖然設計實驗、做實驗和寫實驗報告的過程有時候覺得很

表3：國中生STEM學習參與度與STEM自我效能共變數分析結果

向度	組別 (人數)	前測平均數 (標準差)	後測平均數 (標準差)	調整後後測平均 (標準誤)	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
STEM學習參與度							
STEM學習毅力	實驗組(<i>n</i> = 49)	22.92 (5.41)	23.47 (6.31)	23.18 (0.83)	7.57	.008	.096
	對照組(<i>n</i> = 30)	20.72 (4.68)	18.64 (5.54)	19.21 (1.17)			
STEM主動學習	實驗組(<i>n</i> = 49)	23.04 (4.37)	24.31 (3.64)	23.97 (0.58)	39.49	< .001	.367
	對照組(<i>n</i> = 30)	20.16 (4.01)	16.88 (5.14)	17.54 (0.82)			
STEM精熟能力	實驗組(<i>n</i> = 49)	19.63 (4.26)	20.06 (4.52)	19.81 (0.63)	11.90	.001	.143
	對照組(<i>n</i> = 30)	17.72 (3.89)	15.52 (4.84)	16.02 (0.89)			
樂於學習STEM	實驗組(<i>n</i> = 49)	14.29 (3.45)	15.02 (3.27)	14.83 (0.48)	17.70	< .001	.200
	對照組(<i>n</i> = 30)	12.36 (3.04)	10.92 (3.67)	11.30 (0.67)			
總分	實驗組(<i>n</i> = 49)	79.88 (16.05)	82.86 (16.09)	81.67 (2.30)	18.30	< .001	.205
	對照組(<i>n</i> = 30)	70.96 (13.28)	61.96 (18.40)	64.29 (3.26)			
STEM自我效能							
STEM正向情緒	實驗組(<i>n</i> = 49)	18.04 (4.61)	17.71 (4.87)	17.49 (0.66)	4.53	.037	.060
	對照組(<i>n</i> = 30)	16.08 (4.58)	14.60 (4.74)	15.04 (0.93)			
STEM信念與瞭解	實驗組(<i>n</i> = 49)	31.22 (5.39)	32.37 (4.98)	31.91 (0.80)	39.41	< .001	.357
	對照組(<i>n</i> = 30)	26.16 (5.72)	21.88 (6.60)	22.78 (1.15)			
STEM應用與操作	實驗組(<i>n</i> = 49)	12.43 (2.90)	12.41 (3.43)	11.96 (0.40)	2.90	.093	.039
	對照組(<i>n</i> = 30)	10.44 (3.16)	9.88 (3.26)	10.76 (0.57)			
總分	實驗組(<i>n</i> = 49)	61.69 (10.24)	62.49 (11.44)	61.03 (1.61)	16.45	< .001	.188
	對照組(<i>n</i> = 30)	52.68 (11.71)	46.36 (13.25)	49.22 (2.31)			

註：1. η^2 ：.010為小效果量； η^2 ：.059為中效果量； η^2 ：.138為大效果量，資料分析參考自*Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.), by J. Cohen, 1988, Hillsdale, NJ: Erlbaum.

2.粗體表示組間呈現顯著差異。

表4：國中生STEM能力測驗共變數分析結果

向度	組別(人數)	前測平均數 (SD)	後測平均數 (SD)	調整後後測平均 (SE)	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
STEM素養測驗	實驗組(<i>n</i> = 49)	7.92 (1.53)	9.37 (1.73)	9.04 (0.29)	45.35	<.001	.386
	對照組(<i>n</i> = 30)	5.35 (2.55)	4.77 (2.44)	5.39 (0.42)			

註： η^2 ：.010為小效果量； η^2 ：.059為中效果量； η^2 ：.138為大效果量，資料分析參考自*Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.), by J. Cohen, 1988, Hillsdale, NJ: Erlbaum.

燒腦，還會跟組員有爭執，但是我發現自己對STEM的認識越來越深入。」(IS109101110803)

2. 提供主動學習的環境

當教師提供的學習環境，有助於學生主動學習時，學生的參與度也會隨之提升，S1002與S0701做了如下敘述：

S1002：「我喜歡老師每次講完重點，就放手讓我們自己做實驗，不會給我們很多限制，就算我們想的跟別組不一樣也沒關係，讓我們可以做自己想做的實驗。」(IS109101041002)

S0701：「老師常常說：『錯了也沒關係』，所以也就沒有很怕做失敗，同學在討論滲透作用的未來科技時，大家提出很多神奇的意見，有的很扯，可是大家都不會嘲笑，還很認真討論也許有一天真的可以實現。」(IS109112010701)

3. 學會與他人合作

小組合作的學習環境中，學生的參與度不佳，可能是不知道如何與同儕合作，若合作情形獲得改善，則參與度能以提升。S1103與S0701對他們參與度增加的說法如下：

S1103：「其實是一開始不知道怎麼跟組員合作，常常會吵架，意見不合，可是又很想做實驗，所以就要想辦法啊……不要搶實驗材料、不要插嘴，後來好像組員沒那麼討厭我。」(IS109112011103)

S0701：「老師要我們合作時，一組有四個人，老師就會給四個任務，有時候會被分配到不擅長的，但是不可以換，會不知所措，後來是比較厲害的組員會主動教我，我

比較懂的地方我也會教組員。」
(IS109112010701)

(二) 學生STEM自我效能的轉變

透過問卷與訪談整理歸納發現，學生STEM自我效能提升可歸納成以下三項原因。

1. 受到肯定

許多自我效能提升的學生都提到，對自我STEM能力自信心提升的原因，與受到肯定有關，除了在自然科與數學科的學業成績明顯提升之外，還有來自教師課堂的表揚以及同儕的肯定：

S0103：「我每次都花很多時間完成實驗設計，雖然很燒腦，但是有幾次上課的時候，受到老師公開的誇讚，讓我很開心，覺得自己的努力有成果很高興。」(IS109101110103)

S1002：「當我上課都聽得懂，還可以教同學的時候，我覺得自己的信心就增加了，而且同學聽得懂我的解釋也讓我很有成就感。」
(IS109101041002)

2. 有新的收穫

訪談過程中，有許多學生提到他們很期待上課，原因除了上課氣氛愉快之外，還能夠從課堂任務中獲得新的知識和能力：

S0701：「每次上課都覺得很好玩，即使看到很難的題目也不會畏懼，而是冷靜的思考、研究，努力完成任務，從後來的討論中也可以知道自己哪裡可以更進步。」
(IS109112010701)

S1303：「本來我搞不懂怎麼配不同比例的酒精，還有實驗步驟怎麼寫，這些我都會問老師，而且

我會把學到的知識技能用在日常生活中，因為上了課，我才發現原來滲透作用還滿生活化的。」
(IS109101041303)

3. 發現自我的成長

有學生提到他們原本對自己的STEM能力不是很有信心，但是在上課的過程發現原來自己的能力逐漸提升，使他們對自己更有信心：

S1103：「我覺得自己的思考邏輯更有條理，因為之前的想法比較容易錯，就是比較憑直覺，但是不會去想哪裡有問題，但是現在就沒有那麼容易錯，而且同學質疑我的時候，我可以講得更清楚。」
(IS109112011103)

S0104：「因為上STEM課程能和同組的人一起討論，而且也有報告要寫，過了一個學期，我覺得不管是用說的還是寫的，我的表達能力都進步很多。」(IS109101110104)

(三)學生在不同的思考與問題解決能力之改變

從訪談內容整理歸納發現，學生思考與問題解決能力的改變原因如下。

1. 對話論證過程幫助思考更全面

許多學生在訪談中提到他們很喜歡和老師及同學討論的過程，能夠釐清原本的想法，也幫助他們思考更為全面：

S1002：「我覺得和同組的人一起討論，還有上臺發表，讓我釐清更多的想法，因為要回答問題，不會(回答)的部分印象特別深刻，回家後會想找出答案，所以就更清楚怎麼回事了。」(IS109101041002)

S0303：「交換學習單討論的時候，要提出質疑跟說服對方，我覺得很棒，因為頭腦會更清楚，有時候別人真的指出我寫不完整的地方，就改，看到別人寫得好的也學起來。」(IS109101040303)

2. 能從練習與反思中自我精進

訪談中目標學生說到練習與反思的重要性，他們認為課程聚焦在設計實驗時，能幫助他們檢視自己設計不同的實驗時，是否都能注意其中的重要元素，以及產生自我提升的方法：

S0403：「我覺得最大的收穫是我以前做實驗沒有特別想過要有實驗數據，可是上課的過程老師提醒很多次，後來我設計實驗會更重視精準，所以會獲得更好的實驗結果。」(IS109101040403)

S0304：「一開始要把問題變成可以實驗的問題的時候就不知道要寫什麼，因為要從零想到有，以前都是老師或課本會講。後來就是每次寫每次想，自己就發現可以用反推的方式，因為我對變因比較清楚，所以先寫完各種變因有哪些，再回去想要以什麼當研究問題。」
(IS109101040304)

(四)學生在STEM學科知識的成長

從目標學生的學習單分析，研究者歸納其學科知識提升的原因有。

1. 對知識概念有深入探討

有學生認為課程中對於知識概念的探討很深入，有動手操作及如何運用在生活中，不是紙上談兵，讓他們印象更加深刻：

S0102：「上完這個課我發現自己的應用能力增強，科學還有數學知識不是只在課本裡，還能夠用在生活中，我覺得這點很重要。」(IS109112010102)

S1002：「我覺得做實驗很重要，不然滲透作用原本我以為看不到，在細胞裡進行而已，動手實驗會印象深刻，考試的時候回想那個過程，很容易記起來。」(IS109101041002)

2. 提升思考能力有助其他學科的學習

在學生的問卷回饋中發現，許多人提到他們的學業成績變好了，且並不限於自然領域，進一步訪談發現，他們認為是在課堂中的思考引導，當他們運用在其他學科時，能幫助他們的學業成績也同時提升：

S0304：「數學變好，邏輯思考的部分，算酒精比例很難，我喜歡算東西，但是怎麼去推演，用什麼方法算，以前很弱，上這個課常常會訓練邏輯思考，慢慢就變好了，數學成績也變好。」(IS109101040304)

S0804：「我國文成績變好，我覺得是我把這堂課學到的思考運用到國文課的緣故。因為更知道怎麼歸納重點，尤其是文言文，我會拆解文章架構，再重組，比較不同的文章，就很像我們從設計實驗到分析結果那樣。」(IS109101110804)

三、討論

美國學者McTighe與Wiggins (2012)認為教學者需要思考如何引導學生以刺激其思考並引發探究，才能在教室中激盪更多的問題，確保教室是一個有利於放聲思考、

安全且吸引人的空間；一個重理解的課程設計(understanding by design)強調核心問題(essential questions)的重要性，而好的核心問題即能刺激學生思考來引發探究，進而激盪出更多的問題。本研究教師藉由國中生成最熟悉的STEM相關生活情境來提問，這是探究式教學情境中教學者與學習者最重要的部分，可以提升學習者的學習投入，並讓教學者進入引導學習者如何發現答案的歷程(McTighe & Wiggins)。簡言之，本研究發現教學者善用「提問」能形成有效的探究，引導學習者「看見」和「掌握」一開始看來很令學習者困惑的事物或問題，並逐漸經由提問、對答與論證中「建構出意義」；另外，教學的過程中不斷地鼓勵學生投入探究與提升思考品質，營造支持的課室，形成極佳的探究學習氣氛，亦是本研究重要的成功關鍵(McTighe & Wiggins)。

從上述量化資料分析結果可以發現，經歷12週共計24小時的「情境式探究論證導向STEM教學」過程，國中一年級學生在STEM學習參與調整後的後測分數顯著高於對照組學生。例如：在STEM學習毅力、STEM主動學習、STEM精熟學習、樂於學習STEM四個分向度實驗組學生都進步，而比較對照組學生在STEM素養持續陡降，與過往研究所指出，學生一到國中階段對於學習科學態度、興趣和參與度陡降狀況相近(Ainley, Hidi, & Berndorff, 2002; Chang et al., 2007; Chen, Wang, Lin, Lawrenz, & Hong, 2014; Chen et al., 2016, 2019; Eccles & Wigfield, 2002)，其主要原因和國中階段的科學知識概念比起國小階段明顯的提高，包含較多抽象的科學認識觀，這對於認知發展剛進入形式運思期的國一學生而言會增加其認知負荷(Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)。事實上，多數國一學生仍需仰仗較多的實際實驗操作才能理解抽象

的科學概念，例如：氣候變遷所涉及的因素極為廣泛，自然科教師須要具備系統化思考及跨領域課程設計與教學能力，才能引導國中一年級學生充分瞭解整個知識系統概念(Quigley, Herro, & Jamil, 2017)。然而目前國中自然領域教師教學仍停留在傳統的講述式教學或食譜式實驗，因此本研究發現對照組學生在短時間內學習STEM素養陡降，這項警訊是值得關注和亟待改善的現況。

本研究教學者經常拋出一個學習者不知道答案的問題，並要求國中生在有限器材中運用STEM思維，設計自己組別的研究步驟，這樣的結構式探究(structured inquiry)(Windschitl, 2003)除了能促進學生對於科學概念的瞭解，更因為要解決生活情境問題而逐漸建構科學概念的延伸應用能力。除此外，本研究採用情境式探究論證導向STEM教學，剛好彌補傳統式教學的缺點，讓國一學生成為主動學習者。教師提供與學生生活情境相關的問題來讓學生思考解決的策略(Jocz, Zhai, & Tan, 2014)，引導學生自己思考研究問題，提出研究假設，設計實驗步驟再收集資料，並透過論證討論來釐清盲點。實驗組學生為了辯護自己的發現，需要釐清更多的迷思概念(Duschl & Osborne, 2002)，這樣的學習過程除了幫助自然科教師與學生獲得正確的科學基本知識(Lee, Buxton, Lewis, & LeRoy, 2006; Zohar & David, 2008)、促進學生科學學習興趣(Jack & Lin, 2017; Su, Ding, & Lai, 2017)，更能夠激發學生批判思考及創新知識的能力(Chen et al., 2014; Venville & Dawson, 2010)。因此本研究發現實驗組學生非但STEM參與度提高，在STEM的信念和瞭解也顯著高於對照組學生，這種深度學習(deep learning)成效值得進行縱貫性研究與推廣(Neuman, 2006)。

再者，本研究更從微觀角度探究實驗

組學生的科學知識概念和學習歷程是如何轉變，從16位目標學生的深度個別訪談做不斷比較分析(Glaser & Strauss, 1967)，發現在學習環境較為開放、學習任務具有挑戰性，以及有良好的合作關係，會使學生更願意投入參與(Korpershoek, Canrinus, Fokkens-Bruinsma, & de Boer, 2020; Rolland, 2012)，學生也表示喜歡這樣的學習氛圍。而當學生受到教師的肯定，或是學業成就提升、有新的收穫並發現自我的成長時，他們對於學習STEM的自我效能也會提升(Korpershoek et al.; Rolland)，與Bandura (1977)自我效能理論中成功的經驗(學業成就提升、有新的收穫並發現自我的成長)、他人的說服(教師的肯定)等自我效能來源相符合。

本研究更進一步探討「情境式探究論證導向STEM教學」對知識與思考能力的影響，發現透過對話論證的方式有助於學生對知識概念的澄清，同時也能誘發他們思考更為全面，和Driver, Newton與Osborne (2000)提到的論證在科學教育中的角色相符，學生的知識在課堂論證對話過程中不斷地建構與重建，提供了學生練習提出合理論點的機會，並能培養學生思考、解釋、提出合理論點的能力。而適度的挑戰也能夠幫助學生尋找適合自己學習的方式，從練習與反思中自我精進。另外，從情境中更深入地探討知識在生活中的運用，能夠幫助學生加深印象。先前文獻所提到的，探究式教學能夠培養學生主動建構科學資訊、提出假設、內化資訊，以及生活應用和學習遷移的能力(Ho, Tsai, Wang, & Tsai, 2014; Pugh et al., 2010)，而本研究中「深入的探討知識在生活中的運用」主要呼應了生活應用和學習遷移兩種能力。English與King (2015)的研究也有類似結果，他們發現在STEM主題情境下，學生不只能夠跨領域使用知識，且多數學生能夠針對他們所研究

的問題與設計實作的關聯性做出說明，其中涵蓋了引用課程所包含的原理來解釋科學現象。更重要的是，素養的提升不只是影響課程學習的科目，因為思考能力的提升，加上學生懂得將這些思考模式運用在不同領域，也會帶動其他科目的學習成就逐步提升。

伍、結論與建議

一、結論

(一)情境式探究論證導向STEM教學能提升國中生在STEM學習參與度和自我效能

本研究提供與學生生活情境相關的問題來讓學生思考解決的策略，引導學生自己提出研究問題、設定研究假設、設計實驗步驟、收集資料並透過論證與交互討論來釐清盲點，這樣的學習過程除了幫助學生獲得正確的STEM知識、提升學生對於STEM參與度，更能夠激發學生STEM自我效能。這種深度學習足供推廣與進一步研究。

(二)情境式探究論證導向STEM教學模組能提升國中學生的STEM能力

透過「情境式探究論證導向STEM教學」，除了可以增加國中生的STEM學科知識外，更能逐漸培養國中生具批判性、創造性、發散性的思考，提升其對於高階的、複雜的分析及問題解決能力，這種成長型思維、正向的接受失敗的科學學習態度，正是提升國中學生STEM素養有效的教學模式。

二、建議

本研究僅以高雄地區某國中49位學生進行教學介入研究，因此研究結果在推論到其他地區或不同學習階段之學生必須相當謹

慎。本研究之STEM課程設計不能完全涵蓋所有的STEM課程，這些課程的背景也可能影響研究的結果。儘管如此，本研究的結果仍能提供基於情境式探究論證導向STEM教學的背景，對教學法做出洞察。本研究提出以下建議。

(一)STEM教學內容的選擇宜貼近學生的生活情境

素養的養成不單指學習知識內容，更強調綜合性表現，這需要學生的參與和投入等貼近生活的情境，較能讓學生產生共鳴，理解相關知識在生活中的應用，讓學生在學習歷程中學習到主動參與、嘗試錯誤、探究與實作、討論與反思，並有能力做出較高階的思考能力。教學者可以根據教學對象的屬性與生活經驗，尋找與其生活經驗相關的主題作為課程情境的起點，進一步切入STEM學科知識，使學生明白知識在生活情境中的運用與重要性，並願意投入學習。

(二)教學設計應提供學生更全面性思考的機會

STEM素養除了重視學科知識，同時也強調學生應學習成為具有批判性、創造性、發散性的思考者及高階的、複雜的、分析的思考者及問題解決者，換言之，設計教學時，應考慮提供符合學生個別差異及多面向思考的機會，於教學情境中以需求或問題為課程起點，藉由提問、有系統的討論，引導學生思考以解決問題，成為主動的學習者。

誌謝

本研究承蒙科技部之經費補助(計畫編號：NSC108-2511-H-110-002、NSC109-2511-H-110-014)，謹此致謝。

參考文獻

1. 行政院主計總處(2018)。產值勞動生產力趨勢分析報告：資料時期：中華民國106年。查詢日期：2021年6月16日，檢自<https://www.stat.gov.tw/public/Attachment/11021135827ZX60WRYE.pdf>。
[Directorate General of Budget, Accounting and Statistics, Executive Yuan. (2018). *The trends in labor productivity, 2017*. Retrieved June 16, 2021, from <https://www.stat.gov.tw/public/Attachment/11021135827ZX60WRYE.pdf>]
2. 何仕仁、黃台珠、吳裕益(2007)。科學自我效能量表之發展。科學教育學刊，15(6)，613-626。doi:10.6173/CJSE.2007.1506.01
[Ho, S.-J., Huang, T.-C., & Wu, Y.-Y. (2007). Development of the science self-efficacy inventory. *Chinese Journal of Science Education*, 15(6), 613-626. doi:10.6173/CJSE.2007.1506.01]
3. 余曉清、林煥祥(2017)。PISA 2015臺灣學生的表現。新北市：心理。
[She, H.-C., & Lin, H.-S. (2017). *Taiwan student performance on PISA 2015*. New Taipei, Taiwan: Psychological.]
4. 張玉山、楊雅茹(2014)。STEM教學設計之探討：以液壓手臂單元為例。科技與人力教育季刊，1(1)，2-17。doi:10.6587/JTHRE.2014.1(1).1
[Chang, Y.-S., & Yang, Y.-J. (2014). An exemplar of STEM teaching design-hydraulic arm. *Journal of Technology and Human Resources Education*, 1(1), 2-17. doi:10.6587/JTHRE.2014.1(1).1]
5. 張惠博、林陳涌(2011)。PISA科學素養評量手冊。查詢日期：2020年3月12日，檢自<https://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/mod/resource/view.php?id=24783>。
[Chang, H.-P., & Lin, C.-Y. (2011). *PISA kexue suyang pingliang shouce*. Retrieved March 12, 2020, from <https://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/mod/resource/view.php?id=24783>]
6. 楊桂瓊、陳雅君、洪瑞兒、林煥祥(2015)。新興科技融入探究式教學的成效探討。科學教育學刊，23(2)，111-127。doi:10.6173/CJSE.2015.2302.01
[Yang, K.-K., Chen, Y.-C., Hong, Z.-R., & Lin, H.-S. (2015). Exploring the effectiveness of integrating emerging technology into inquiry-based science teaching. *Chinese Journal of Science Education*, 23(2), 111-127. doi:10.6173/CJSE.2015.2302.01]
7. 鄭瑞洲、洪振方、黃台珠(2011)。情境興趣——制式與非正式課程科學學習的交會點。科學教育月刊，340，2-10。doi:10.6216/SEM.201107_(340).0001
[Cheng, J.-C., Hung, J.-F., & Huang, T.-C. (2011). Situational interest—Connecting formal and non-formal science education. *Science Education Monthly*, 340, 2-10. doi:10.6216/SEM.201107_(340).0001]

8. Ainley, M., Hidi, S., & Berndorff, D. (2002). Interest, learning, and the psychological processes that mediate their relationship. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 545-561. doi:10.1037/0022-0663.94.3.545
9. Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191-215. doi:10.1037/0033-295X.84.2.191
10. Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
11. Brislin, R. W. (1986). The wording and translation of research instruments. In W. J. Lonner & J. W. Berry (Eds.), *Field methods in cross-cultural research* (pp. 137-164). Newbury Park, CA: Sage.
12. Chang, M., Singh, K., & Mo, Y. (2007). Science engagement and science achievement: Longitudinal models using NELS data. *Educational Research and Evaluation*, 13(4), 349-371. doi:10.1080/13803610701702787
13. Chen, H.-T., Wang, H.-H., Lin, H.-S., Lawrenz, F., & Hong, Z.-R. (2014). Longitudinal study of an after-school, inquiry-based science intervention on low-achieving children's affective perceptions of learning science. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2133-2156. doi:10.1080/09500693.2014.910630
14. Chen, H.-T., Wang, H.-H., Lu, Y.-Y., & Hong, Z.-R. (2019). Bridging the gender gap of children's engagement in learning science and argumentation through a modified argument-driven inquiry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(4), 635-655. doi:10.1007/s10763-018-9896-9
15. Chen, H.-T., Wang, H.-H., Lu, Y.-Y., Lin, H.-S., & Hong, Z.-R. (2016). Using a modified argument-driven inquiry to promote elementary school students' engagement in learning science and argumentation. *International Journal of Science Education*, 38(2), 170-191. doi:10.1080/09500693.2015.1134849
16. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
17. Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A
18. Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72. doi:10.1080/03057260208560187
19. Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132. doi:10.1146/annurev.psych.53.100901.135153
20. English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: Fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2. Retrieved

March 2, 2021, from <https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-015-0027-7>

21. Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A., & Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM education: A framework for developing STEM literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), 369-385. doi:10.1007/s10956-020-09823-x
22. Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. New York, NY: Aldine de Gruyter.
23. Godding, P. R., & Glasgow, R. E. (1985). Self-efficacy and outcome expectations as predictors of controlled smoking status. *Cognitive Therapy and Research*, 9(5), 583-590. doi:10.1007/BF01173011
24. Ho, H. N., Tsai, M.-J., Wang, C.-Y., & Tsai, C.-C. (2014). Prior knowledge and online inquiry-based science reading: Evidence from eye tracking. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(3), 525-554. doi:10.1007/s10763-013-9489-6
25. Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. A. (Eds.). (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/18612
26. Hong, Z.-R. (2010). Effects of a collaborative science intervention on high achieving students' learning anxiety and attitudes toward science. *International Journal of Science Education*, 32(15), 1971-1988. doi:10.1080/09500690903229304
27. Hong, Z.-R., & Lin, H.-S. (2013). Boys' and girls' involvement in science learning and their self-efficacy in Taiwan. *International Journal of Psychology*, 48(3), 272-284. doi:10.1080/00207594.2011.628673
28. Hong, Z.-R., Lin, H.-S., & Lawrenz, F. (2012). Effects of an integrated science and societal implication intervention on promoting adolescents' positive thinking and emotional perceptions in learning science. *International Journal of Science Education*, 34(3), 329-352. doi:10.1080/09500693.2011.623727
29. Hong, Z.-R., Lin, H.-S., Wang, H.-H., Chen, H.-T., & Yang, K.-K. (2013). Promoting and scaffolding elementary school students' attitudes toward science and argumentation through a science and society intervention. *International Journal of Science Education*, 35(10), 1625-1648. doi:10.1080/09500693.2012.734935
30. Jack, B. M., & Lin, H.-S. (2017). Making learning interesting and its application to the science classroom. *Studies in Science Education*, 53(2), 137-164. doi:10.1080/03057267.2017.1305543
31. Jocz, J., Zhai, J., & Tan, A.-L. (2014). Inquiry learning in the Singaporean context: Factors affecting student interest in school science. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2596-2618. doi:10.1080/09500693.2014.908327
32. Ketelhut, D. J. (2011). Assessing gaming, computer and scientific inquiry self-efficacy in a vir-

- tual environment. In L. Annetta & S. C. Bronack (Eds.), *Serious educational game assessment: Practical methods and models for educational games, simulations and virtual worlds* (pp. 1-18). Rotterdam, The Netherlands: Sense.
33. Korpershoek, H., Canrinus, E. T., Fokkens-Bruinsma, M., & de Boer, H. (2020). The relationships between school belonging and students' motivational, social-emotional, behavioural, and academic outcomes in secondary education: A meta-analytic review. *Research Papers in Education*, 35(6), 641-680. doi:10.1080/02671522.2019.1615116
 34. Kupermintz, H. (2002). Affective and conative factors as aptitude resources in high school science achievement. *Educational Assessment*, 8(2), 123-137. doi:10.1207/S15326977EA0802_03
 35. Lamb, R. L., Vallett, D., & Annetta, L. (2014). Development of a short-form measure of science and technology self-efficacy using Rasch analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 23(5), 641-657. doi:10.1007/s10956-014-9491-y
 36. Lawrenz, F., Gravemeijer, K., & Stephan, M. (2017). Introduction to this special issue. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(Suppl. 1), 1-4. doi:10.1007/s10763-017-9815-5
 37. Lee, O., Buxton, C., Lewis, S., & LeRoy, K. (2006). Science inquiry and student diversity: Enhanced abilities and continuing difficulties after an instructional intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(7), 607-636. doi:10.1002/tea.20141
 38. Maddux, J. E. (1995). Self-efficacy theory: An introduction. In J. E. Maddux (Ed.), *Self-efficacy, adaptation, and adjustment: Theory, research, and application* (pp. 3-33). New York, NY: Plenum Press.
 39. Marope, M., Griffin, P., & Gallagher, C. (2019). *Future competences and the future of curriculum: A global reference for curricula transformation*. Retrieved May 11, 2021, from http://www.ibe.unesco.org/sites/default/files/resources/future_competences_and_the_future_of_curriculum.pdf?fbclid=IwAR1Y3Ac0dNgpHqle02-OwYQ-b-eAZfwEHJ3PwnbUZa8TX-Ia-PZQpTrMjnhU
 40. McTighe, J., & Wiggins, G. (2012). *Understanding by design framework*. Retrieved October 4, 2021, from http://www.ascd.org/ASCD/pdf/siteASCD/publications/UbD_WhitePaper0312.pdf
 41. Mitcham, C. (1994). *Thinking through technology: The path between engineering and philosophy*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
 42. National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/13165
 43. Neuman, W. L. (2006). *Social research methods: Qualitative and quantitative approach* (6th ed.). Boston, MA: Pearson Education.
 44. Ng, S. B. (2019). *Exploring STEM competences for the 21st Century*. Retrieved September 16,

- 2021, from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368485/PDF/368485eng.pdf.multi>
45. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013, March). *PISA 2015 draft science framework*. Retrieved June 25, 2021, from <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>
46. Pugh, K. J., Linnenbrink-Garcia, L., Koskey, K. L. K., Stewart, V. C., & Manzey, C. (2010). Motivation, learning, and transformative experience: A study of deep engagement in science. *Science Education*, 94(1), 1-28. doi:10.1002/sce.20344
47. Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1-2), 1-12. doi:10.1111/ssm.12201
48. Rolland, R. G. (2012). Synthesizing the evidence on classroom goal structures in middle and secondary schools: A meta-analysis and narrative review. *Review of Educational Research*, 82(4), 396-435. doi:10.3102/0034654312464909
49. Sampson, V., & Walker, J. P. (2012). Argument-driven inquiry as a way to help undergraduate students write to learn by learning to write in chemistry. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1443-1485. doi:10.1080/09500693.2012.667581
50. Su, Y.-S., Ding, T.-J., & Lai, C.-F. (2017). Analysis of students engagement and learning performance in a social community supported computer programming course. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(9), 6189-6201. doi:10.12973/eurasia.2017.01058a
51. Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Altering element interactivity and intrinsic cognitive load. In J. Sweller, P. Ayres, & S. Kalyuga (Eds.), *Cognitive load theory* (pp. 203-218). New York, NY: Springer.
52. Venville, G. J., & Dawson, V. M. (2010). The impact of a classroom intervention on grade 10 students' argumentation skills, informal reasoning, and conceptual understanding of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 952-977. doi:10.1002/tea.20358
53. Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143. doi:10.1002/sce.10044
54. Zandvliet, D. (2018). STEM and LEAF. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 26(8), 3-16.
55. Zohar, A., & David, A. B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition and Learning*, 3(1), 59-82. doi:10.1007/s11409-007-9019-4

附錄

附錄一：情境式探究論證導向STEM教學模組內容概述表

週數	主題	課程起點	STEM素養	情境概述	整合領域	實驗組	對照組
二	滲透作用	知識	1.學科知識 2.批判、創造、發散思考	19世紀德國植物學家Pfeffer在研究植物代謝的同時，開發了一種半多孔膜來研究滲透現象。讓微觀現象巨觀化。	S：滲透作用 M：計算滲透時間、數據圖表轉換	1.觀察科學史上滲透作用之重現實驗 2.依據變因設計滲透作用實驗 3.同儕互評及辯護	1.講述概念 2.食譜式實驗
三	糖漬檸檬	需求	1.學科知識 2.批判、創造、發散思考 3.高階、複雜、分析思考與解決問題 4.正向接受挫折	醃漬是人類歷史上最悠久且美味的加工食品，在重視健康的現代，食品科技對於醃漬技術的需求，朝向天然、健康發展。	S：滲透作用、防腐 T：延長食品儲存期限之技術 E：改進加工製程 M：菌落計算、成本計算、數據圖表轉換	1.設計製作糖漬檸檬流程 2.設計測試不同製程之糖漬檸檬的方法 3.成果發表	1.影片 2.講述 3.食譜式實驗
二	水晶土	發現問題	1.學科知識 2.批判、創造、發散思考 3.高階、複雜、分析思考與解決問題 4.正向接受挫折	水晶土可以吸收液態肥料，最適宜種養陰生或水生綠色觀葉植物，它不需要經常澆水護理，也不會生蟲、惹蚊惹蟻，但不同成分的水晶土，也引發了生態危機。	S：滲透作用、交聯反應 T：調配製作水晶土之技術 E：工程思維之問題解決流程 M：配方比例、成本計算	1.製作及測試產品 2.產品發表 3.質詢與辯護	1.講述 2.食譜式實驗 3.討論
三	酒精殺菌與乾洗手	發現問題 &需求	1.學科知識 2.批判、創造、發散思考 3.高階、複雜、分析思考與解決問題 4.成長型思維 5.正向接受挫折	COVID-19讓全世界人人自危，目前酒精是有效的自保方式之一，但究竟幾度的酒精效果最好？乾洗手這項產品又是如何因應而生？	S：酒精能殺菌的機制、滲透作用、交聯反應 T：生物醫學科技 E：工程思維之問題解決流程 M：酒精調配比例計算	1.學習配製不同比例酒精 2.酒精殺菌效果實驗設計 3.乾洗手製作配方測試 4.成果發表	1.講述 2.食譜式實驗 3.討論

週數	主題	課程起點	STEM素養	情境概述	整合領域	實驗組	對照組
二	滲透作用的未來科技	創造機會	1. 學科知識 2. 批判、創造、發散思考 3. 高階、複雜、分析思考與解決問題 4. 成長型思維 5. 正向接受挫折	從古至今，滲透作用在科技與工程上的運用越來越廣泛，從食品到海水淡化，都有其概念之運用，未來，還有哪些發展的可能？	S：滲透作用 T：滲透作用在不同科技的基礎 E：工程思維之問題解決	1. 小組討論 2. 概念產品發表 3. 質詢與辯護	1. 影片 2. 講述 3. 討論

註：COVID-19：新型冠狀病毒(Coronavirus disease)。

附錄二：STEM素養與PISA科學能力素養對照表

題組	問題	說明	STEM素養能力、傾向和技能	PISA科學能力
風力發電	問題一	從顯示不同地點一整年的平均風速的圖表中，選擇出最適合設立風力發電機的地點及說明理由。	高階、複雜分析思考與解決問題	分析與解釋數據，並產生合適的推論
	問題二	理論與真實情境中，風力發電的條件不盡相同，受試者須從所提供的條件以及圖表數據，分析比對，選擇出滿足各項條件的關係圖。	高階、複雜分析思考與解決問題	分析與解釋數據，並產生合適的推論
	問題三	解釋為什麼就相同的風速而言，在海拔越高的地方，風車轉動越慢？	學科知識	提出解釋性的假設
竹筷與食物的漂白	問題四	思考與使用石化燃料如煤礦和石油等發電相比，風力發電有哪些優點與缺點，至少各舉三項。	批判、創造、發散思考	區分出以科學證據和理論為基礎的論證，或以其他考量因素為基礎的論證
	問題一	根據題幹中的描述，找出實驗的目的。	高階、複雜分析思考與解決問題	辨識科學探索之問題
	問題二	根據圖表所顯示的結果，形成三點結論。	高階、複雜分析思考與解決問題	分析與解釋數據，並產生合適的推論

註：PISA：國際學生能力評量計畫(Program for International Student Assessment)。

附錄三：訪談大綱

本訪談大綱乃針對實驗組國中生對於「情境式探究論證導向STEM教學」的STEM學習參與感受、STEM自我效能以及STEM能力規劃出五題訪談大綱。內容包括：

- 1.給自己在科學社課程中的參與情形評分(1 ~ 10)，並說明理由；描述一下自己在上課中的表現？(例如：期待、投入……的實例)
- 2.舉例說明你上了這門課之後，有沒有幫助你在生活中運用所學的STEM知識解決問題？
- 3.你有沒有哪一科的學業成績提升，你認為是因為上了這門課的緣故，請舉例說明。
- 4.從上課到現在，你覺得收穫最多的部分是什麼？舉例說明你覺得自己在這門課展現了哪些能力？
- 5.在這門課中，你遇到的困難有哪些？你是如何解決的？

Promoting Student STEM Literacy Through Contextual-Based Inquiry-Driven Argumentation STEM Teaching

Li-Ting Cheng¹, Ying-Yan Lu², Zuway-R Hong^{1,*} and Wen-Yi Hsu¹

¹Center for General Education, Kaohsiung Medical University

²Office of Institutional Research & Planning, Kaohsiung Medical University

Abstract

The purpose of this study was to explore the effects of a Contextual-Based Inquiry-driven Argumentation (CIA) Science, Technology, Engineering, Mathematics (STEM) teaching strategy on junior high students' STEM engagement, STEM self-efficacy, and STEM competency. Forty-nine ninth grade students were conveniently selected to participate in a 12-week CIA STEM course and chosen as the Experimental Group (EG) for this study. In addition, thirty ninth graders from the same school were also randomly selected as the Comparison Group (CG). All participants in both groups were evaluated on their STEM engagement, STEM self-efficacy, and STEM competency before and after the CIA STEM intervention. Eight students who scored either in the top 15% or the bottom 15% of the pre-test were specially selected and observed weekly. Individual interviews with these students were conducted at the end of the intervention. Based on covariance analysis, EG students' mean scores for STEM learning engagement, STEM self-efficacy, and STEM competency were significantly higher than their CG counterparts. A continuous comparative analysis revealed that an open learning environment, challenging tasks, cooperative, and friendly relationships affected the target students' engagement in scientific activities. When these students received affirmation from their teachers, their academic performance improved and their STEM self-efficacy and STEM competency improved significantly. Furthermore, through the interactive dialogue argumentation, students' scientific conception and high level thinking skills improved. The results of this study provide a fresh insight on science teaching and related studies.

Key words: STEM Self-Efficacy, STEM Competency, STEM Engagement, Contextual-Based Inquiry-Driven Argumentation STEM Teaching

* Corresponding author: Zuway-R Hong, a3803429@gmail.com