

模型式的 STEM 咖啡調製體驗式教育科技應用： 以虹吸壺為例

蘇金豆^{1,*}

摘要：體驗式教育科技對學習的重要性與日俱增。因此，本研究為探討技職學生教育科技應用成效，以虹吸壺為例，設計模型式的 STEM (science, technology, engineering and mathematics) 咖啡調製體驗式教育科技教材，應用已開發的評量工具，評量 70 位學生 STEM 體驗式學習能力。重要研究成果有四：一、依創業科學思維 STEM 體驗式學習模型，從認知、情意和技能三向度，建構 15 項學習目標，並設計出 STEM 咖啡體驗式活動教材；二、STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用過程，豐富參與者生活科學領域知識的視野和創新價值；三、STEM 體驗式學習能力評量上，在認知層次方面，可以達到評估的階層，而在創業科學思維能力方面，觀察和價值兩向度，皆有優良的表現；四、主題式訪談，覺知參與者能透過 STEM 體驗式學習支援，幫助他們行動、做和理解。本研究模型式的 STEM 咖啡調製體驗式教育科技應用，驗證了學習是課程與教學的交集。

關鍵字：STEM、主題式訪談、技職學生、咖啡調製、體驗式學習

Model-Based STEM Coffee Brewing Experiential Educational Technology Application: Taking the Siphon Pot as an Example

Su, King-Dow^{1,*}

Abstract: Experiential education technology is an important learning tool increasingly. Therefore, to explore the effectiveness of educational technology application for technical and vocational students, this study took the siphon pot as an example to design a model science, technology, engineering and mathematics (STEM) coffee brewing experiential educational technology teaching material and applied the developed evaluation tools to evaluate the STEM experiential learning of 70 students. Represent four experimental results: 1. Based on the STEM experiential learning model of entrepreneurial scientific thinking to construct 15 learning objectives from three dimensions: cognition, emotion, and skills, and to design STEM coffee experiential activity teaching materials. 2. The application process of STEM experiential siphon pot educational technology enriches their vision and innovative value of life science knowledge. 3. In the assessment of

投稿日期：2024 年 1 月 26 日；通過日期：2024 年 6 月 19 日。

本論文感謝兩位匿名評審的修正意見，文中言論由作者自行負責。

¹ 宏國德霖科技大學餐旅管理系教授

* 通訊作者：蘇金豆，E-mail：su-87168@mail.hdut.edu.tw

STEM experiential learning ability, students' cognitive hierarchy can reach the level of evaluation, and their entrepreneurial scientific thinking skills have excellent performance in both observation and value dimensions. 4. Thematic interviews perceive that this study can help participants act, do, and understand through STEM experiential learning support. This research model-based discussion on the STEM coffee brewing experiential education technology application verifies that learning is the intersection of curriculum and teaching.

Keywords: STEM, thematic interviews, technical and vocational students, coffee preparation, experiential learning

壹、前言

一、研究背景與動機

21 世紀是知識經濟革新的新世代，教育科技創新與發展日新月異，未來教育科技對生活的影響將持續增加，社會由科技的思想與產品所主導與指導不言而喻（Jenkins, 2002; Su, 2024a）。值此科學、技術與創新高度依存的教育環境中，如何提升學習者的意願，讓學習者從此教與學的氛圍中，有更多的動手作機會，體驗不同的學習場域，深化學習經驗，繼而分享創新學習的成就與樂趣，已越來越受學者們重視（楊心怡、劉遠楨，2012；Cheng et al., 2023）。而結合課程理論與實作應用能力的科際整合議題，如 STEM（science, technology, engineering and mathematics）在近幾年也開始受到學者們（林坤誼，2014；Andić et al., 2023; Newton et al., 2020; Su, 2022）的重視與推動，此種 STEM 教育培育目標，已成為落實技職高教體系學生學習的重要策略。

STEM 教育實務體驗，提供了課程內容知識以外技能的學習機會，如正確的過程技能中使用科學儀器、蒐集和分析數據，以及如何在團隊中工作（Reynders

et al., 2019; Su, 2024a）。而科學過程技能的獲得，則包含批判性思維（critical thinking）、問題解決（problem solving）與溝通（communication）等能力。然而，實務體驗與過程技能是參與科學界不可或缺的一部分（Reynders et al., 2019）。Qian 與 Clark（2016）和 van Laar 等人（2017）將批判性思維、創造性思維（creative thinking）、溝通與協作（collaboration）稱為 21 世紀產業職能 4C。在追求高水準的思維和解決問題能力的歷程，調整傳統教育方法來適應 21 世紀知識革新時代，試圖培育實務經驗導向的產業職能 4C 之需求人才，是有其必要性與急迫性。

然而，創業科學思維（entrepreneurial science thinking, EST）是 21 世紀學習者，面對競爭日益激烈的產業所需的眾多關鍵技能之一（Ahmad & Siew, 2021）。Buang 等人（2009）定義 EST 是將科學過程技能和創業思維相結合的技能，也是一種追求創造性、創新想法以及機會的認知情境（Krueger, 2003），以實現 21 世紀的職能 4C。學者們認為 EST 的應用，將鼓勵學生們解決具挑戰性和有意義的周遭生活問題，進而提高其認知推理能力，對當今準備從事 STEM 相關職業的技職

教育學生，具重要的啟示（Daniel, 2016; Hunter et al., 2016）。EST 的概念，融合了問題解決與創業元素，試圖訓練學習者在解決問題時，尋求創造性的思維，徹底完成任務（Syukri et al., 2013）。然而，對於 STEM 教育的科技應用中，進一步評估餐飲科系學生運用體驗式科技學習，其評量工具的適合度，國內外鮮少有此研究。

技職教育研究學者張仁家與林癸妙（2019）在論文中指出，STEM 教育的重要目標在激勵學生的創新思維（Corlu et al., 2014），並培育他們成為具備專業知識、創業、技術以及設計思維的人才，瞭解與改善所面臨的真實世界生活問題，以解決當前對數學與科學學理基礎不夠扎實的問題，此問題將衝擊其領域知識（Winters, 2014）。據此，本研究試圖為國內 STEM 餐飲技職學生，開發 EST 測試評量工具，以評量其產業職能 4C 的對應能力。有鑑於此，本研究擬設計 EST STEM 體驗式學習模型，在 STEM 引導體驗教學後，開發出評量學生 EST 能力與 STEM 知識概念學習成效的評量工具，企圖在 STEM 體驗式課程中教授 EST 後，進一步評估其在應用皇家比利時壺進行飲料調製（beverage preparation，簡稱飲調）的 EST 能力與認知能力，期能依此所建構的學習目標、科技應用、能力表現與參與者之回饋反思，培養學生在職場所需具備的職能 4C，以為未來銜接職場或微型創業做好準備。

二、研究目的與問題

綜上，本研究依此設計 EST STEM 體驗式學習模型，創建一個體驗式科技應用實務學習環境。為使教學變得更有趣，學習變得更有意義，本研究從學習目標、教育科技的應用、參與者概念認知能力與

EST 的能力表現。提出如下五點研究問題進行探討：

- （一）STEM 體驗式學習模型中的學習目標為何？
- （二）STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用步驟為何？
- （三）參與者對 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用之概念認知能力表現為何？
- （四）參與者對 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用之 EST 能力表現為何？
- （五）參與者之回饋反思為何？

貳、理論基礎

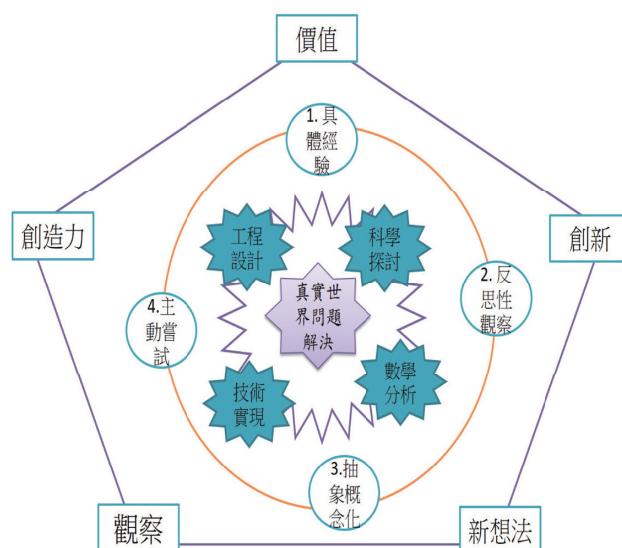
模型式的 STEM 咖啡調製體驗式教育科技應用，本研究將依據圖一 EST STEM 體驗式學習模型中由外而內的 EST、體驗式學習理論與 STEM 教育應用等理論基礎，進行文獻探討，以解決真實世界的問題。依此，作為本研究之理論依據，茲描述如下：

一、EST

EST 理論是 EST STEM 體驗式學習模型圖一的第一圈。EST 是 Buang 等人（2009）依據科學教學與學習概念，基於科學知識和創業導向的設計思維技能，所提出的一種思維理論來解決真實世界的問題，其 EST 包含有目的的觀察、從觀察的現象找出獨特性，轉化為多個新想法、從多個新想法找到可能成功的創新設計，評估成功的可能性、進行創新設計並不斷修改、增進創新設計的社會價值五個向度。向度一的觀察，是問題解決的第一步，有計畫且有目的的進行活動觀察，使得參與者能真

圖一

EST STEM 體驗式學習模型



資料來源：本研究設計。

正用在新產品中材料使用之適當性觀察與設計，提升產品的視野與價值性（Ahmad & Siew, 2021）；而向度二的新想法，可引導參與者就先前步驟，進行修正並更正既有的想法，有助於強化產品設計並創新產品；向度三的創新，是參與者就產品的創見與設計觀點，提出新思維，並加以評估，而達到創新的目的；向度四的創造力，Buang 等人指出經由知識的整合，達到強化和發展思維任務的目的，參與者經由模型與產品設計，行銷新思維，如產品（product）特色介紹、由材料定出產品價格（price）、找到銷售與宣傳產品的通路（place）、產品促銷（promotion）、參與者（people）的角色則扮演著傳遞與接受服務、顧客排隊等待的過程（process）與店鋪環境、員工服務態度等有形的展示（physical evidence）產品 7P 的概念（McCarthy, 1975）；最後一個向度的價值，乃結合產品優勢的敘述，如產品的功能性、價值觀、可持續性

與理論特質等，培育富價值觀的社會和國家需求人才（Syukri et al., 2013）。

Ahmad 與 Siew（2021）認為 STEM 教育中的 EST，將有助於培養能夠解決問題、做出決策、具有創新和創造力的人才，造福未來社會。Su（2024b）研究肯定應用 STEM 教育中的 EST，可培育在真實生活中具問題解決的創調創意人才。據此，EST 將有助於培養 21 世紀產業職能 4C 的競爭人才。

二、體驗式學習理論

體驗式學習理論是圖一的第二圈，體驗式學習理論中的反思和體驗學習，與 EST 的理論模型概念相符合。Ahmad 與 Siew（2021）指出 EST 需要歷經社會和認知過程，在此過程，參與者發展新思維並轉化這些思維，以便它們可以在市場和社會中活用（Gemmell et al., 2012）。

體驗式學習理論，Kolb (1984) 發現此學習理論，可視為是一種包含四個階段的體驗過程，即具體經驗 (concrete experience)、反思性觀察 (reflective observation)、抽象概念化 (abstract conceptualization) 與主動嘗試 (active experimentation)。第一階段是在具體經驗的體驗式學習過程，讓參與者歷經危機 (risk)、模糊情況處理與面對陌生和不確定的新體驗，透過小組合作討論出有系統性的解決方案，透過體驗式學習，得到解決真實世界生活問題的具體經驗；第二階段是反思性觀察，Kolb 提醒學習者統整其思維、感知、聯想與其他觀察的相關經驗資料，釐清原委並積極構建理論基礎，於此學習歷程，學習者能參閱他人的活動策略與流程，從觀察中反思學習、分析討論並不斷提升自我學習成效；第三階段是抽象概念化，Kolb 認為學習者能結合理性思維，將訊息編排成系統化，而能符合邏輯概念、思維、理論和模型，於生活體驗中能廣泛應用，讓抽象概念化；第四階段是主動嘗試，是體驗式學習過程的最後步驟，Kolb 指出主動嘗試者能積極體驗，體驗真實世界和新學習行為，參與者對於初步結論、新知識及測試概念的新穎性，能從不同角度看待新事物與體驗不同感覺，並能主動嘗試體驗，建立創造性與創新性的學習目標。

Gemmell 與 Kolb (2013) 研究聲稱，體驗式學習理論中的反思和體驗學習，與 EST 的理論模型概念相符合。Ahmad 與 Siew (2021) 認為體驗式學習理論，建構了 EST 理論的框架，讓參與者應用體驗學習解決消費者的問題，生產創新產品造福大眾。因此，體驗式學習理論有助於本研究的推動與創新學習。

三、STEM 教育應用

STEM 教育的綜合學習，在 21 世紀發揮著至關重要的作用，教育人們如何應對未來的重大挑戰。在 STEM 課程中整合概念應用在各層級學生而發揮正面效益，如兒童教育 (Hobbs, 2019; Hong et al., 2020; Piro, 2010)、小學教育 (Ahmad & Siew, 2021; Dedetürk et al., 2021)、中等教育 (Eltanahy et al., 2020; Honey et al., 2014)、高等教育 (Hong et al., 2019) 和技職教育 (Cheng et al., 2023; Su, 2022, 2024a)。因此，強調知識應用與實務練習的 STEM 教育，提供參與者多面向的學習 (Andić et al., 2023; Bybee, 2010; Moore et al., 2015; Newton et al., 2020; Tsai et al., 2021)。

STEM 教育的應用，目的在於培養學生訊息理解、精準決策、解決問題和克服未來挑戰的高階能力，在 21 世紀社會中，此一教育更顯重要性 (張仁家、林癸妙, 2019; Hong et al., 2020)。強調使用技術與科學思維解決問題的 STEM 教育，由實作中將所學知識與生活經驗連繫起來 (Andić et al., 2023; Mohtar et al., 2019; Su, 2024b; York et al., 2019)，是一種高層次思維的跨學科統整模式。此種跨域模式與 Buang 等人 (2009) 的 EST 理論模型與上述 Kolb (1984) 的體驗學習四階段過程技能，皆強調學習者的實際參與、思考、創新學習與問題解決。

Gunawan 與 Shieh (2020) 研究指出，在 STEM 課程中融入 EST，對學生的學習將產生顯著的影響。Eltanahy 等人 (2020) 提出在 STEM 學習過程中，應用 EST 可以提高學習者設計認知，增加其對產品價值性的判斷能力。Ahmad 與 Siew (2021) 也認為 EST 在 STEM 教育中的應用，將

有助於培育能夠解決問題、決策和富創新創造的人才，以造福未來國家與社會。

上述之應用皆植基於體驗式學習理論中的反思和體驗學習 (Gemmell & Kolb, 2013)。Cheng 等人 (2023) 的研究中，強調技職教育學生溝通的困難，經由 18 週跨學科合作課程後，學生們對自己實踐技能的大幅增長感到滿意。據此，本研究擬以虹吸壺為例，設計模型式的 STEM 教育科技應用，期能強化 STEM 認知能力與學理基礎，提升其領域知識能力。

參、研究方法

一、研究對象及範圍

依據上述研究問題以及文獻探討的基礎，本研究設計模型式的 STEM 體驗式虹吸壺，應用在選修科技生活教育中的咖啡飲調課程技職學生共 70 位 (男生 29 人，女生 41 人)。為了研究取樣的適當性與專一性，本研究對象，來自北部地區某科技大學餐旅系學生，且剛開始涉略此飲調領域。體驗式學習活動教學場域，則選擇在飲調專業教室進行，落實情境教學，在哪裡做就在哪裡學 (Brown et al., 1989)。另外，也邀請 6 位教授專家參與本研究，這 6 位專家包含 2 位科學教育專長、2 位科技教育專長和 2 位媒體傳播教育專長，其中男女各 3 位，年紀為 55 ~ 62 歲，教學年資皆在 20 年以上，其主要任務是進行問卷邏輯、流暢度修改與參考教學目標提出主題式訪談內容。

二、體驗式活動設計

(一) 教材

依圖一 EST STEM 體驗式學習模型，

邀請 2 位飲調專業教師進行訪談，從 EST、體驗式學習與 STEM 教育科技應用的領域，就真實世界生活應用之問題解決技能進行討論，建構出 EST STEM 體驗式學習目標 (詳見研究結果)，依此學習目標引導出 STEM 咖啡飲調體驗式活動教材，教材內容示如表一。表一 STEM 咖啡飲調體驗式活動教材呈現出 S、T、E、M 之內容評析。在課程要點方面，設計了咖啡調製課程主題，從烘培、研磨、虹吸壺萃取和拉花技術等內容，使參與者對 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用之活動，更富學習動機，期能提升學生學習能力。

(二) STEM 教育科技應用

虹吸壺是本研究融合咖啡進行飲調之 STEM 教育科技應用，S、T、E、M 之內容評析，示如表二。表二是 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用的 S、T、E、M 內容評析。虹吸壺使用過程有關 STEM 的相關內容呈現在表二。

三、評量工具開發

本研究應用作者已開發之體驗式科技學習評量表 (Su, 2024b)，作為 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用，參與者學習能力之評量工具，此工具包含知識概念問卷與 EST 量表，本研究再輔以主題式訪談，茲分述如下。

表一
STEM 咖啡飲調體驗式活動教材內容評析

STEM	模型式咖啡調製教材內容
科學 (Science)	烘培過程梅納反應與萃取
科技 (Technology)	烘培深度 (輕度、中度及深度烘培) 與溫火加熱之控制
工程 (Engineering)	研磨與咖啡拉花技術
數學 (Mathematics)	重量、水量與溫度量測

資料來源：本研究整理。

表二
STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用的內容評析

STEM	虹吸壺教材內容
科學（Science）	引流、蒸氣壓、萃取、虹吸原理與回吸
科技（Technology）	磨豆機、傳熱管、重力錘、排氣閥與酒精燈等控制
工程（Engineering）	虹吸管、濾布與酒精燈等之安裝
數學（Mathematics）	酒精填充量、咖啡重量與水量比例

資料來源：本研究整理。

（一）知識概念問卷

知識概念問卷主要在評估參與者六個向度的知識概念認知能力，六向度來自 Bloom 修訂後的教學目標認知分類法（Anderson & Krathwohl, 2001），即記憶、理解、應用、分析、評估和創造，每個向度皆有三個題目，每個題目有四個單一選項，答對給五分，答錯給零分。列舉二項例題說明：低層次記憶向度的例題為「比利時壺沖提咖啡時，蒸氣壓和沸點的關係為何？（A）正比（B）反比（C）指數關係（D）不相關」。在高層次評估向度的例題為：「比利時壺沖提咖啡過程中，金屬壺扮演的角色，下列何者不適當？（A）耐熱性（B）密閉性（C）易於觀察內部的科學現象（D）耐腐蝕」。

內容效度由 6 位專家驗證，分析題項的內容效度指數（content validity index, CVI）為 .95 和標準偏差為 .05；6 位專家根據文獻（Wahono & Chang, 2019）8 個評量問題進行 1～5 分的評分，取平均值作為題項內容效度指數（item-level content validity index, I-CVI），當 CVI 值均優於 .79，表示專家評定知識概念問卷各題項與相關之教學目標層次間具有高相關（Polit et al., 2007），內容效度優良。在評分者信

度（inter-rater reliability）方面，Marozzi（2014）指出 Kendall 的和諧係數 ω （Kendall's coefficient of concordance）低於 .4 表示評分者信度從輕微到一般程度一致性（slight to fair agreement）；係數在 .4～.6 之間，表示具有實質一致性（substantial agreement）；係數在 .6～.8 之間，表示評分者具連貫的一致性（consistent agreement）；當係數 $\omega > .8$ ，則表示具有幾乎完全的一致性。而本研究之和諧係數 $\omega = .72$ ，介於 $.6 < \omega < .8$ 之區間，故評分者信度達優良以上。故 STEM 知識概念問卷具信效度。

（二）EST 量表

EST 量表包含觀察、新想法、創新、創造力和價值五個 EST 能力向度，每個向度有三個開放式題項，共計 15 題試題，問卷列舉二例：在觀察向度的例題如「說明您觀察到應用比利時壺沖提咖啡，所使用的材料優點？」學生回答依概念正確數計分，每一正確概念給 1 分，滿分 3 分。例如學生的答案為：「密閉性、耐熱性與耐腐蝕性」，這是三個正確的概念，故給 3 分。在價值向度例題如「請說明您的咖啡飲料產出，在產品機能性對消費者的好處？」例如學生的答案為；「提神、減肥」，只回答兩個正確概念，故給 2 分。

內容效度操作方法同上述由專家驗證，獲得的 CVI 為 .95，標準偏差為 .06，具有優良的內容效度。有關評分者信度之和諧係數 $\omega = .66$ ，介於 $.6 < \omega < .8$ 區間，評分者信度達優良以上。故 EST 量表具有優良的信度與效度，能有效評估參與者的 EST 能力。

（三）主題式訪談

在訪談部分，本研究採用主題式訪談，其優點易聚焦訪談內容（Su, 2024a），

訪談問題經 6 位專家建議，對本次 STEM 課程的四大內容主題提出問題，包含：虹吸壺歷史、飲調技術、過程技能問題解決、STEM 教育學習與評價。作者隨機選取 17 位參與者進行訪談，期能進一步瞭解參與者對教育科技應用的學習反思與回饋。

四、實驗研究步驟與流程

(一) 實驗研究步驟

本研究 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用教學活動實驗步驟配當表，示如表三，EST STEM 咖啡調製體驗式教學實驗，每週兩堂課，為期 5 週，共計 10 堂課 500 分鐘。

(二) 研究過程流程

研究過程流程圖，示如圖二。圖二顯示 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用教學之研究過程，從相關資料搜尋、學習目標訂定、議題選定到課程教材之設計，其教學目的旨在讓學生能結合教學現場軟硬體設備，體驗咖啡飲料的實作，跨域學習產生新的創意。再者，應用學習能力評量工具，評量學生對 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用，試圖理解參與者知識認知能力與 EST 能力的發展；結合主題式的訪談進

一步分析參與者之回饋反思。研究過程末段，進行數據分析、資料統整與研究推廣。

五、倫理考量與資料處理

本研究在第一堂課即對參與者進行知情同意書宣達（同意書版本／日期：2022/5/23 第二版），並簽署同意書後進行。問卷填寫皆採取匿名，並以阿拉伯數字和英文編碼，符合倫理考量，倫理委員會也給予同意審查與同意修正／變更證明書（NCCU-REC-202205-E022）。

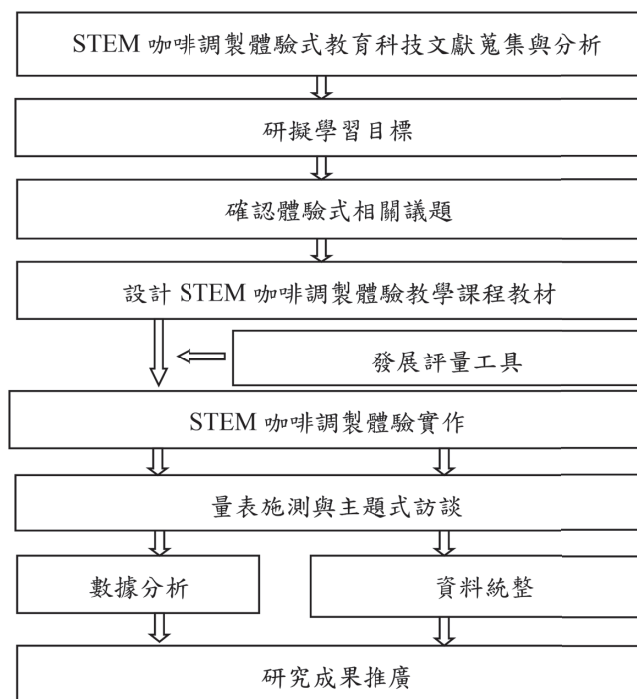
資料處理方面，本研究將 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用所蒐集之問卷資料，進行簡易電腦編碼。而參與訪談分析的學生則是隨機選取，並徵得學生同意，由作者依上述四項主題進行訪談，所得資料以英文字母編碼，代表訪談之學生，如：編碼 S20240110M1 ~ S20240110M9，表 2024 年 1 月 10 日第 1 位至第 9 位參與訪談的男學生；編碼 S20240110F1 ~ S20240110F8，表 2024 年 1 月 10 日第 1 位至第 8 位參與訪談的女學生，以符合倫理要求。所用的統計方法包含描述性統計與 Kendall’s 和諧係數統計，以 SPSS for MS Windows 25.0 軟體進行統計分析。

表三
STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用教學活動實驗步驟配當表

項目	活動內容	時間 (min)
前測管理	分組、體驗活動位置安排、學生背景資料填寫與前測進行	30
教學準備	STEM 體驗式虹吸壺教學引導、目的敘述與實驗步驟介紹	20
體驗活動	應用 STEM 教育進行動手操作、動腦設計與小組討論	300
後測管理	EST 量表與 STEM 知識概念問卷填寫	50
半結構式訪談	隨機由各組選取 1 名學生進行訪談 (17 位)	100

資料來源：本研究整理。

圖二
研究過程流程圖



資料來源：本研究整理。

肆、研究結果與討論

一、建構學習目標

體驗式虹吸壺教育科技應用學習目標，有認知、情意和技能三向度。為了回應研究問題一，作者與 2 位飲調專家就 EST、體驗式學習與 STEM 教育科技應用的領域，考量真實世界生活應用之問題解決與技能展現進行討論，而建構出 EST STEM 體驗式學習目標，示如表四。

Günter 與 Alpat (2017) 研究認為，學習是課程與教學的交集，EST STEM 體驗式學習目標，將有助於參與者實作活動參與的引導。Chan (2022) 也發現，參與實作活動可以激發參與者的學習好奇心。有

些研究 (Struyf et al., 2019; Vasquez et al., 2013) 也指出，跨學科學習不僅有助於學習過程，還包括教學過程和教師的使用，對學校 STEM 教育學習目標的實現發揮著極端的作用。依此，本研究建構的知識、情意和技能三向度共 15 項學習目標，將有助於參與者 STEM 體驗式學習的引導。

二、STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用過程

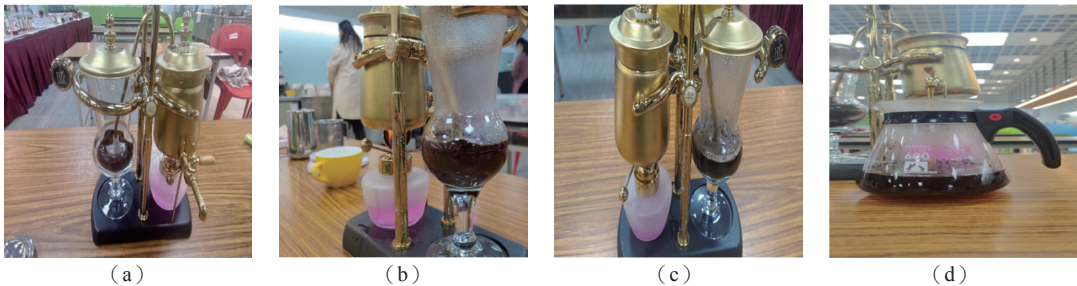
STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用實體照片如圖三。圖四則展現虹吸壺的體驗過程技能，步驟一：先進行咖啡豆的選擇，量取 40 g 並進行研磨，體驗者可聞得咖啡的香味，增進學習興趣；步驟二：量取

表四
EST STEM 實作體驗式學習目標

向度	學習目標
認知	1. 學生能正確說出幾種主要飲料沖提的名稱。 2. 學生能正確地解釋虹吸現象的科學意涵。 3. 在不使用參考資料下，學生能正確說明虹吸的原理，並解釋其對比利時壺之 STEM 功能。 4. 學生能根據教師所給的條件，正確地設計一套適合於觀察飲料沖提運作方式的流程。 5. 學生能比較飲料沖提的運作過程，選出適合自我需求的一種方式，並說明其理由。
情意	1. 為了得到好的證照考試成績，學生努力對比利時壺操作之練習。 2. 學生能主動親近並關懷他組的學習環境，進而瞭解 STEM 學習環境的重要。 3. 學生喜歡動手實作勝於理論。 4. 遇見他人有學習困難時，學生會主動幫忙對方。 5. 學生將手放在比利時壺上以便操控內外壓力平衡。
技能	1. 在教師的指示下，學生能夠組裝比利時虹吸壺。 2. 不需教師的指示與幫助，學生能自行完成咖啡、綠茶與蝶豆花的沖提。 3. 學生能在 20 分鐘內正確組裝好比利時虹吸壺，並完成飲料沖提。 4. 學生能學會使用比利時虹吸壺。 5. 學生能在學完比利時虹吸壺原理後，自行設計一款新的飲料沖提產品。

資料來源：本研究整理。

圖三
體驗式虹吸壺從（a）組裝、（b）萃取過程、（c）回吸到（d）咖啡產出之順序步驟摘錄



資料來源：本研究設計。

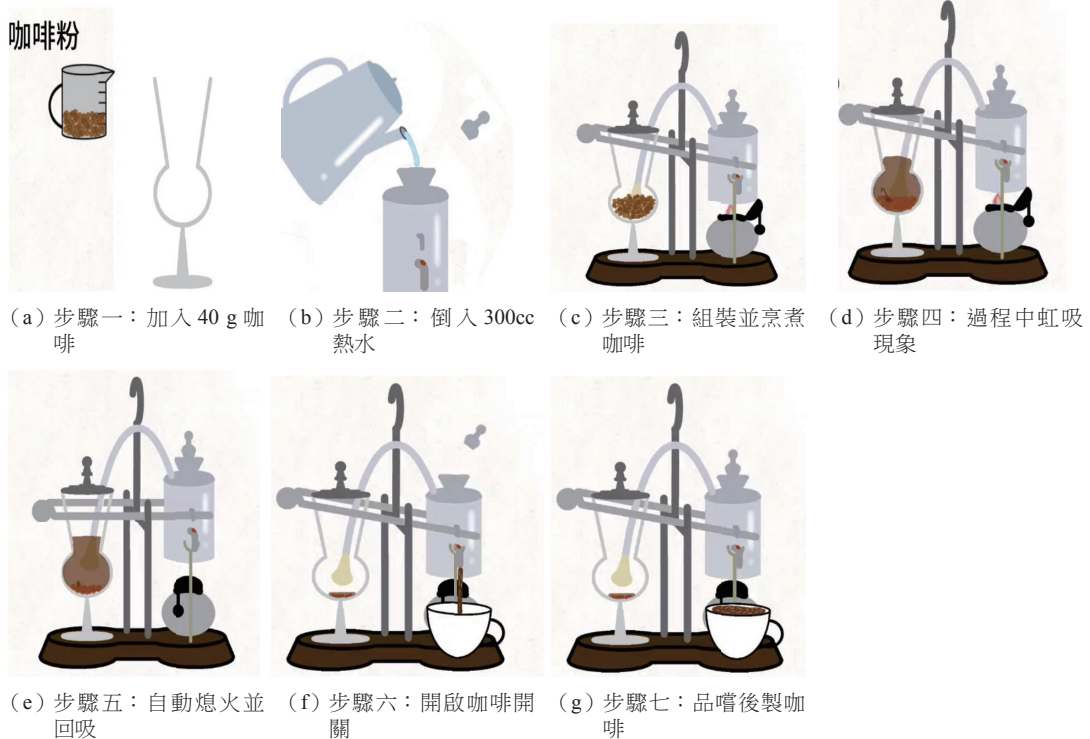
300 cc RO 逆滲透熱水，倒入壺中；步驟三：組裝並點燃酒精燈烹煮咖啡；步驟四：烹煮過程因蒸氣壓而產生虹吸現象，蒸氣完全流入左方玻璃瓶中；步驟五：因重錘的蹺蹺板原理，而使酒精燈自動熄火並回吸進入右方的金屬壺中；步驟六：開啟壺下方的開關，咖啡便流出咖啡杯內；步驟七：兩杯咖啡產生。咖啡可進一步拉花，品嚐後製的視覺美感饗宴。據此，回應本研究之研究問題二。

STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用過程，讓參與者在一個富 STEM 學習環境中，

進行體驗式教學實踐場景，誠如 Harwell 等人（2015）研究中所提，學習環境將增強 STEM 體驗式學習在設計和評量上的獨特性，提升學習者的創意。Bicer 等人（2017）也相信 STEM 體驗式學習環境的建構，對參與者的 STEM 能力提升是必要的。Su（2024b）研究，指陳虹吸壺的 STEM 體驗式學習，豐富了參與者在生活科學領域知識的視野和創新價值。因此，本研究以虹吸壺建構 STEM 體驗式學習環境，對學習者 STEM 能力的提升，具正面的獨特意義。

圖四

STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用過程



資料來源：本研究設計。

三、評量 STEM 體驗式學習能力

為了回應研究問題三和研究問題四，本研究應用作者已開發之體驗式科技學習評量表 (Su, 2024b)，作為參與者 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用學習能力之評量工具，此工具中的知識概念問卷，主要在評估參與者知識概念認知能力；而另一量表，EST 量表，主要在評估參與者 EST 能力。茲分述如下：

(一) 知識概念認知能力

本研究應用量表的知識概念問卷，主要在評估參與者知識概念認知能力，認知能力有記憶、理解、應用、分析、評估和創造六向度，其平均值顯示於表五。前五

表五

知識概念認知能力 ($N = 70$)

認知能力	記憶	理解	應用	分析	評估	創造
平均值	4.910	4.881	4.686	4.729	4.205	2.252
標準差	0.008	0.016	0.094	0.108	0.476	1.732

資料來源：本研究整理。

個向度平均值皆大於 3.5 分，表示在知識概念方面，參與者在記憶、理解、應用、分析和評估五向度，皆有正面的回應。而創造力評量結果平均值小於 3.5，表示在知識概念方面，學生在認知層次上，已經可以達到評估的階層 (Anderson & Krathwohl, 2001)。至於更高的創造階層還要再努力，亦即創造力的培養尚有努力

的空間。換言之，創造力的建構，仍需在課程與教材方面，做妥善的安排和學習。

參與者知識認知能力的建構，誠如學者們 (Chan, 2022; Dabney et al., 2012; Sadler et al., 2012; Wyss et al., 2012) 指陳，能力越強者，將鼓勵其解決具挑戰性和有意義的生活周遭問題，進而提高其推理能力，對當今準備從事 STEM 相關職業的技職教育學生，具重要的啟示 (Hunter et al., 2016)。

(二) EST 能力

EST 量表包含觀察、新想法、創新、創造力和價值五個能力向度，每個向度有三題項，皆以開放式問卷呈現，讓參與者能經由 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用學習，展現出 EST 的能力，示如表六。每個向度依概念數給 0 ~ 3 分的得分，整體平均值 2.00 分，表示參與者 EST 能力皆有好以上的表現，而觀察和價值這兩個向度，皆有優良的表現。低於平均值的新想法、創新和創造力三向度，尚有學習的空間。

Eltanahy 等人 (2020) 意識到，在 STEM 學習過程中，應用 EST 可以提高學習者對 STEM 設計的認識，激發他們更具創業精神。同時指出，學習 STEM 倘若缺乏 EST 技能，則學習者面對社會經濟產品的價值性，將缺乏判斷能力。Syukri 等人 (2013)

指出，EST 的目的在培養具備創業思維的人才。誠如 Cheng 等人 (2023) 的研究，強調技職教育學生經由 18 週跨學科合作課程後，能化困境為技能實踐的機會。因此，本研究未來將豐富 STEM 課程內容，期能在新想法、創新和創造力三向度，更有所展現。

四、訪談與回饋分析

為了回應研究問題五，本研究採用上述主題進行訪談，參與訪談之學生共計 17 位，其中男生 9 位、女生 8 位，主題包含虹吸壺歷史、飲調技術、過程技能問題解決、STEM 教育學習與評價議題，訪談結果，依據四大訪談主題萃取相關語句，整理摘錄如下：

(一) 虹吸壺歷史

有 1 位男學生 (S20240110M1) 和 1 位女學生 (S20240110F4)：

在上完課後，就上網去找皇家比利時虹吸壺的發展過程，皇家比利時壺發明人英國造船師傅是 James Napier [Bramah & Bramah, 1989]，此壺是 19 世紀中期，歐洲各國皇室御用的咖啡壺，包金鑄銅，外表華麗，由於獨特造形而且美觀，整個製作流程融合了蒸汽、重力、壓力和火為一體的科技元素，過程充滿蹣跚板式趣味，頗富觀賞性，使得喝咖啡成為一種兼具理性與感性的浪漫情調，自從上了此課程後，我會特別駐足觀望此一沖堤咖啡的設備。

(二) 飲調技術

有 4 位男學生 (S20240110M4、S20240110M6、S20240110M8 和 S20240110M9)

表六
EST 能力 (N = 70)

認知能力	觀察	新想法	創新	創造力	價值
平均值	2.60	1.94	1.53	1.56	2.35
標準差	0.09	0.13	0.30	0.15	0.07

資料來源：本研究整理。

和 4 位女學生（S20240110F3、S20240110F4、S20240110F7 和 S20240110F8）：

此一技術與歐洲在推動的慢食運動，有異曲同工之樂趣，優雅高貴的萃取過程，讓我們捕捉到藝術的美感與科學原理的融入，原來喝咖啡，不在於最後的品嚐，而是中間過程的等待。慢食運動 [slow food] 是義大利卡爾洛·佩特里尼所提出，其目的在於對抗日益盛行的快餐。等待也是一種藝術，可洞察虹吸壺蹺蹺板的上下移轉，其中蒸汽壓的影響，可使蒸汽與咖啡融合，此時重錘扮演蹺蹺板的過程，左傾的咖啡沖提與萃取而使酒精燈熄滅，瞬間因虹吸現象，使得咖啡經濾布進入了金屬導管，而流入金屬壺內，此時重錘的蹺蹺板又有了變化，傾向另一端，等待的咖啡經由壺的操控而流入杯中，一杯熱騰騰的咖啡終於誕生了，這是我們操作此一飲調技術最大的體驗與收穫。

（三）過程技能問題解決

在體驗式的虹吸壺動手作過程，提出了過程技能的問題與觀念修正，有 4 位女學生（S20240110F1、S20240110F3、S20240110F4 和 S20240110F5）和 2 位男學生（S20240110M2 和 S20240110M8）：

為何金屬壺中的咖啡，在轉動水龍頭後仍無法流出呢？此一問題在 STEM 教師從壓力平衡的物理原理解說後，同學們恍然大悟；再者，同學們從此過程技能的觀察與實作，瞭解口感有一影響因素，是萃取時間控制的問題，時間短濃度低，時間長濃度高，這是學習過程，同學們的共同體會。因此，時間的控制是萃取過程技能的重要因素。

（四）STEM 教育學習與評價

有 8 位男學生（S20240110M2 ~ S20240110M9）和 6 位女學生（S20240110F2 ~ S20240110F7）：

此一 STEM 實務教學，只有在校內才學得到此一技能，感覺很特殊，科學原理的融入與引導，結合實地技術操作，讓我們更深入體驗此一課程，並能引發進階學習的動力，和組員們討論與切磋後，能深化此一課程技能知識。因此，學生們覺得觀察、解釋、體驗和引導是學習最佳的動力，這也是他們喜歡此一 STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用的關鍵原因。

綜上，進行訪談時，若訪談者答案模糊，作者會舉例並引導訪談者提出自己思維，完成訪談。主題式的訪談，誠如 Su（2024a）研究中指陳，更能瞭解學生在技術學習上，遇到困難的回饋與反思，其所提供的學習經驗，如何適時地透過 STEM 體驗式學習支援，幫助他們行動、做和理解，而這些經驗也驗證了學習是課程與教學的交集（Günter & Alpat, 2017），實作活動的確可激發學習者的好奇心（Chan, 2022）。此一跨學科學習，如 Struyf 等人（2019）所陳，有助於學習過程。

伍、結論與建議

一、結論

體驗式教育科技對學習的重要性與日俱增。本設計模型式的 STEM 咖啡調製體驗式教育科技教材，應用已開發的評量工具，評量學生 STEM 體驗式學習能力，得到如下結論：

- (一) 依 EST STEM 體驗式學習模型，從認知、情意和技能三向度，訂定體驗式虹吸壺教育科技應用學習目標，共建構 15 項學習目標，並設計出 STEM 咖啡體驗式活動教材，此將有別於 STEM 教育文獻，引導學生解決萃取過程醇厚度兩難的技術問題。
- (二) STEM 體驗式虹吸壺教育科技應用過程，豐富 STEM 學習環境，提升學習者的創意，也增進參與者生活科學領域知識的視野和創新價值，更突顯高等教育層級中體驗式教育的重要性。因此設計方面尤重 STEM 體驗式學習環境的情境建構，對學習者 STEM 能力的提升，具正面的獨特意義。
- (三) STEM 體驗式學習能力評量上，在認知層次方面，參與者知識認知能力可以達到評估的階層，能力越強者，其解決具挑戰性和有意義的生活周遭問題能力也越強，而推理能力也依循提高，對準備從事 STEM 相關職業的高教技職教育餐飲科系學生，具啟發作用；而在 EST 能力方面，觀察和價值兩向度，皆有優良的表現，應用 EST 可以提高學習者對 STEM 設計的認知與技能養成，激發他們更具創業精神，此有別於一般科學思維以認知為主的教學設計，對高教技職學生而言，STEM 教育的融入，更顯其素養的重要性與優勢的競爭力。
- (四) 虹吸壺歷史、飲調技術、過程技能問題解決、STEM 教育學習與評價等主題式訪談，覺知參與者能透過

STEM 體驗式學習支援，幫助他們行動、做和理解，從學生學習經驗，實作活動的確可激發學習者的好奇心，此一跨學科學習，有助於學習過程素養的提升。

總之，本研究模型式的 STEM 咖啡調製體驗式教育科技應用，驗證了學習是課程與教學的交集。

二、建議

從結論中可知，本研究所設計模型式的 STEM 咖啡調製體驗式教育科技應用具正面成效。然仍有一些困境與推論的限制，將就教學實務與後續研究設計二方面進行建議，使推論更謹慎：

- (一) 在教學實務上之困境與建議，體驗式 STEM 融入生活科技領域，在教學實務所面臨的困境，在操作設計上之萃取時間，因蹣跚板的原理導致萃取時間過短。因此，建議延長萃取的操作時間，方能充分萃取以增加口感。
- (二) 在未來研究設計建議上，由於探討的樣本數與虹吸壺的數量皆有限，期待未來能提高有效的樣本數與虹吸壺的數量，進而提升實作的縱深面向，期能更精準的評估學習者的 STEM 體驗式學習能力。

謝誌

本研究承蒙行政院國家科學及技術委員會提供經費補助（計畫編號 MOST 111-2410-H-237-001-MY2），使研究得以順利完成，後續將持續執行，謹此致謝。

參考文獻

- 林坤誼 (2014)。STEM 科際整合教育培養整合理論與實務的科技人才。科技與人力教育季刊, 1 (1), 1。
- 張仁家、林癸妙 (2019)。美國 STEM 教育的發展沿革與經驗——以俄亥俄州為例。科技與人力教育季刊, 5 (4), 1-25。https://doi.org/10.6587/JTHRE.201906_5(4).0001
- 楊心怡、劉遠楨 (2012)。創新學習：資訊科技的應用與實踐。教學科技與媒體, 100, 36-41。
- Ahmad, J., & Siew, N. M. (2021). Development of a children entrepreneurial science thinking test for STEM education. *Journal of Baltic Science Education*, 20(4), 528-545. https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.528
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Andić, B., Ulbrich, E., Dana-Picard, T., Cvjetičanin, S., Petrović, F., Lavicza, Z., & Maričić, M. (2023). A phenomenography study of STEM teachers' conceptions of using three-dimensional modeling and printing (3DMP) in teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 45-60. https://doi.org/10.1007/s10956-022-10005-0
- Bicer, A., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2017). Integrated STEM assessment model. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7), 3959-3968. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00766a
- Bramah, E., & Bramah, J. (1989). *Coffee makers: 300 years of art & design*. Quiller.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42. https://doi.org/10.3102/0013189X018001032
- Buang, N. A., Halim, L., & Mohd Meerah, T. S. (2009). Understanding the thinking of scientists entrepreneurs: Implications for science education in Malaysia. *Journal of Turkish Science Education*, 6(2), 3-11.
- Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.
- Chan, R. C. H. (2022). A social cognitive perspective on gender disparities in self-efficacy, interest, and aspirations in science, technology, engineering, and mathematics (STEM): The influence of cultural and gender norms. *International Journal of STEM Education*, 9(1), Article 37. https://doi.org/10.1186/s40594-022-00352-0
- Cheng, C.-Y., Kao, C.-P., Hsu, T.-W., & Lin, K.-Y. (2023). A study of the feasibility of a cross-college curriculum based on the experience of student cooperation. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(1), 23-37. https://doi.org/10.1007/s10798-022-09752-3
- Corlu, M. S., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2014). Introducing STEM education: Implications for educating our teachers for the age of innovation. *Education and Science / Egitim ve Bilim*, 39(171), 74-85.
- Dabney, K. P., Tai, R. H., Almarode, J. T., Miller-Friedmann, J. L., Sonnert, G., Sadler, P. M., & Hazari, Z. (2012). Out-of-school time science activities and their association with career interest in STEM. *International Journal of Science Education, Part B*, 2(1), 63-79. https://doi.org/10.1080/21548455.2011.629455
- Daniel, A. D. (2016). Fostering an entrepreneurial mindset by using a design thinking approach in entrepreneurship education. *Industry and Higher Education*, 30(3), 215-223. https://doi.org/10.1177/0950422216653195
- Detektürk, A., Kirmizigül, A. S., & Kaya, H. (2021). The effects of STEM activities on 6th grade students' conceptual development of sound. *Journal of Baltic Science Education*, 20(1), 21-37. https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.21
- Eltanahy, M., Forawi, S., & Mansour, N. (2020). Incorporating entrepreneurial practices into STEM education: Development of

- interdisciplinary E-STEM model in high school in the United Arab Emirates. *Thinking Skills and Creativity*, 37, Article 100697. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100697>
- Gemmell, R. M., Boland, R. J., & Kolb, D. A. (2012). The socio-cognitive dynamics of entrepreneurial ideation. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 36(5), 1053-1073. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2011.00486.x>
- Gemmell, R. M., & Kolb, D. A. (2013). Experiential learning and creativity in entrepreneurship. In E. G. Carayannis (Ed.), *Encyclopedia of creativity, invention, innovation and entrepreneurship* (pp. 702-710). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3858-8_489
- Gunawan, S., & Shieh, C.-J. (2020). Effects of the application of stem curriculum integration model to living technology teaching on business school students' learning effectiveness. *Contemporary Educational Technology*, 12(2), Article ep279. <https://doi.org/10.30935/cedtech/8583>
- Günter, T., & Alpat, S. K. (2017). The effects of problem-based learning (PBL) on the academic achievement of students studying "electrochemistry." *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 78-98. <https://doi.org/10.1039/c6rp00176a>
- Harwell, M., Moreno, M., Phillips, A., Guzey, S. S., Moore, T. J., & Roehrig, G. H. (2015). A study of STEM assessments in engineering, science, and mathematics for elementary and middle school students. *School Science and Mathematics*, 115(2), 66-74. <https://doi.org/10.1111/ssm.12105>
- Hobbs, L. (2019). STEAM: Powering the digital revolution. In A. de la Garza & C. Travis (Eds.), *The STEAM revolution* (pp. 237-246). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89818-6_16
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. A. (Eds.) (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press.
- Hong, J.-C., Ye, J.-H., Ho, Y.-J., & Ho, H.-Y. (2020). Developing an inquiry and hands-on teaching model to guide steam lesson planning for preschool children. *Journal of Baltic Science Education*, 19(6), 908-922. <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.908>
- Hong, J.-C., Ye, J.-H., & Fan, J.-Y. (2019). STEM in fashion design: The roles of creative self-efficacy and epistemic curiosity in creative performance. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(9), Article em1742. <https://doi.org/10.29333/ejmste/108455>
- Hunter, R., Hunter, J., Jorgensen, R., & Choy, B. H. (2016). Innovative and powerful pedagogical practices in mathematics education. In K. Makar, S. Dole, J. Visnovska, M. Goos, A. Bennison, & K. Fry (Eds.), *Research in mathematics education in Australasia 2012-2015* (pp. 213-234). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1419-2_11
- Jenkins, E. W. (Ed.). (2002). *Innovations in science and technology education* (Vol. 6). The UNESCO Press.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Krueger, N. F., Jr. (2003). The cognitive psychology of entrepreneurship. In Z. J. Acs & D. B. Audretsch (Eds.), *Handbook of entrepreneurship research: An interdisciplinary survey and introduction* (pp. 105-140). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-24519-7_6
- Marozzi, M. (2014). Testing for concordance between several criteria. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 84(9), 1843-1850. <https://doi.org/10.1080/00949655.2013.766189>
- McCarthy, E. J. (1975). *Basic marketing: A managerial approach* (5th ed.). R. D. Irwin.
- Mohtar, L. E., Halim, L., Rahman, N. A., Maat, S. M., Iksan, Z. H., & Osman, K. (2019). A model of interest in STEM careers among secondary school students. *Journal of Baltic Science Education*, 18(3), 404-416. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.404>
- Moore, T. J., Tank, K. M., Glancy, A. W., &

- Kersten, J. A. (2015). NGSS and the landscape of engineering in K-12 state science standards. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(3), 296-318. <https://doi.org/10.1002/tea.21199>
- Newton, K. J., Leonard, J., Buss, A., Wright, C. G., & Barnes-Johnson, J. (2020). Informal STEM: Learning with robotics and game design in an urban context. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(2), 129-147. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1713263>
- Piro, J. M. (2010). Going from STEM to STEAM. *Education Week*, 29(24), 28-29.
- Polit, D. F., Beck, C. T., & Owen, S. V. (2007). Is the CVI an acceptable indicator of content validity? Appraisal and recommendations. *Research in Nursing & Health*, 30(4), 459-467. <https://doi.org/10.1002/nur.20199>
- Qian, M., & Clark, K. R. (2016). Game-based learning and 21st century skills: A review of recent research. *Computers in Human Behavior*, 63, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.023>
- Reynders, G., Suh, E., Cole, R. S., & Sansom, R. L. (2019). Developing student process skills in a general chemistry laboratory. *Journal of Chemistry Education*, 96(10), 2109-2119. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00441>
- Sadler, P. M., Sonnert, G., Hazari, Z., & Tai, R. (2012). Stability and volatility of STEM career interest in high school: A gender study. *Science Education*, 96(3), 411-427. <https://doi.org/10.1002/scs.21007>
- Struyf, A., De Loof, H., Boeve-de Pauw, J., & Van Petegem, P. (2019). Students' engagement in different STEM learning environments: Integrated STEM education as promising practice? *International Journal of Science Education*, 41(10), 1387-1407. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1607983>
- Su, K.-D. (2022). Implementation of innovative artificial intelligence cognitions with problem-based learning-guided tasks to enhance students' performance in science. *Journal of Baltic Science Education*, 21(2), 245-257. <https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.245>
- Su, K.-D. (2024a). The challenge and opportunities of STEM learning efficacy for living technology through a transdisciplinary problem-based learning activity. *Journal of Science Education and Technology*, 33, 429-443. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10094-z>
- Su, K.-D. (2024b). The feasibility and effectiveness of life science in STEM practical learning environment. *Journal of Baltic Science Education*, 23(1), 151-163. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.151>
- Syukri, M., Halim, L., & Mohd Meerah, T. S. (2013, March 26-28). *Pendidikan STEM dalam entrepreneurial science thinking "ES-ciT": Satu perkongsian pengalaman dari UKM untuk ACEH* [Conference Session]. Aech Development International Conference 2013, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Tsai, L.-T., Chang, C.-C., & Cheng, H.-T. (2021). Effect of a STEM-oriented course on students' marine science motivation, interest, and achievements. *Journal of Baltic Science Education*, 20(1), 134-145. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.134>
- van Laar, E., van Deursen, A. J. A. M., van Dijk, J. A. G. M., & de Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, 72, 577-588. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>
- Vasquez, J. A. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann.
- Wahono, B., & Chang, C.-Y. (2019). Assessing teacher's attitude, knowledge, and application (AKA) on STEM: An effort to foster the sustainable development of STEM education. *Sustainability*, 11(4), Article 950. <https://doi.org/10.3390/su11040950>
- Winters, J. V. (2014). STEM graduates, human capital externalities, and wages in the U.S. *Regional Science and Urban Economics*, 48, 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2014.07.003>
- Wyss, V. L., Heulskamp, D., & Siebert, C. J. (2012). Increasing middle school student

interest in STEM careers with videos of scientists. *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(4), 501-522.

York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. K. (2019). Applications of systems thinking in STEM education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742-2751. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00261>