

我國近 30 年科技融入數學教學對中小學生學習成效影響之後設分析*

廖遠光

中國文化大學
師資培育中心

陳勇欣

中華經濟研究院
經濟展望中心

本研究以後設分析法探討近 30 年我國實施科技融入數學教學對中小學生學業成就之效果，並進而深入分析影響學習成效的因素。我們以「數學」、「科技」、「電腦」、「math」、「technology」、「computer」與「成效」等為關鍵字或篇名，自「臺灣博碩士論文知識加值系統」、「華藝線上圖書館」、「臺灣期刊論文索引系統」、Scopus、EBSCOhost、ProQuest、ScienceDirect 及 Web of Science 等資料庫共收集到 282 篇研究 (20,190 位學生)，並計算各研究之效果量 (effect size, ES)。本研究參考 Borenstein 等人 (2009)、Hedge 與 Olkin (1985) 及 Lipsey 與 Wilson (2001) 等所建議的方法。ES 定義為實驗組與對照組的平均數之差除以所有樣本之標準差。研究結果顯示，科技融入數學教學對學生之學習成效顯著優於傳統教學，整體平均效果量為 0.32 (固定效果模式) 與 0.35 (隨機效果模式)。此外，在 13 個調節變項的分析上發現 10 個變項對整體成效有顯著影響：(1) 國小學生的學習成效顯著優於高中 (職) 生；(2) 國小生在「數與量」及「幾何」上的表現顯著優於國中生而國中生則在「代數」上略優於國小生；(3) 期刊論文的學習成效顯著優於未發表論文；(4) 發表於 2004-2009 年的研究其成效顯著優於 2010-2014 年的研究；(5) 採等組前後測的研究其成效略優於採不等組前後測的研究；(6) 小樣本的研究其成效顯著優於大樣本的研究；(7) 教學總節數為「6-10 節」的研究成效顯著優於「16-20 節」的研究；(8) 「個人」化的學習成效顯著優於「全班一起授課」及「分小組授課」；(9) 「即時反饋系統」的學習成效顯著優於「傳統紙筆」與「混合」；(10) 科技融入時機以「課中」的學習成效最佳也優於「課前」、「課後」及「混合」。本研究為國內第一篇以科技融入中小學數學教學為主題的後設分析，研究發現當能提供政策決定者與數學教師重要之參考。

關鍵詞：後設分析、科技融入教學、臺灣學生、數學、學業成就

* 1. 本文通訊作者：廖遠光，通訊方式：yliao2009@gmail.com。

2. 本文作者感謝科技部補助本計畫之全部經費 (補助編號：MOST 105-2410-H-034-036)；作者亦感謝兩位匿名評審委員所提供之寶貴審查意見與建議。

德國數學家高斯 (Carl Friedrich Gauss) 曾說過：「數學為科學之母」，「數學是科學之鑰」(引自朱建正, 1997)。Muijs 與 Reynolds (2001) 更指出大部份科學研究中，均需要以數學為工具，且需要某些數學定理為基礎。因此數學教育不止傳遞數學的文化資產，同時也重視與其它領域的連結，以發展學生解決問題、學習其它領域的知識、與他人溝通講理的能力，並且做為未來創造新知識的基礎 (九年一貫數學學習領域綱要修訂小組, 2003)。

Jonassen (2000) 曾提出學習資訊科技的三個發展階段，分別是「從電腦學 (learning from computer)」、「學電腦 (learning about computer)」、與「用電腦學 (learning with computer)」。我國資訊科技的發展始自電腦輔助教學 (computer-assisted instruction, CAI)，經由電腦課程的實施，到九年一貫課程中的資訊融入教學 (張國恩, 2002)，其發展歷程與 Jonassen (2000) 的觀點頗為一致。綜合國內外多位學者的觀點 (王全世, 2000; 沈慶珩, 2004; 張國恩, 2002; Dias, 1999; Sprague & Dede, 1999) 資訊融入教學意指「將各種資訊科技整合於教師的教學與學生的學習歷程中，使資訊科技成為教學與學習的有效工具，進而提升學生學習的動機與成效」。

教育部九年一貫課程綱要中在數學學習領域方面，課綱列出了兩項基本要求：(1) 學生要能使用科技與資訊去解決潛在無窮盡的數學問題，(2) 學生要能使用資訊科技去處理與數學及其他科目相關的資訊 (教育部, 2000)。且在十二年國民基本教育課程綱要數學領域中之基本理念五指出「數學教學應培養學生正確使用工具的素養」(教育部, 2018, 頁 2)。可見，無論是新舊課綱都指出數學領域的學習包含科技的應用；學生在數學課中不僅需學習數學知識，亦須學會善用科技來解決數學問題。因此，教師若能將科技融入數學教學，一方面能促進學生對數學知識的理解，另一方面則是親身展示如何善用科技解決數學問題，並進而提升其分析、思辨、批判等高層次思考能力，奠定其探索科學及其它領域的基礎。美國數學教師協會 (National Council of Teachers of Mathematics [NCTM], 2000) 所制定的數學課程綱要認為，科技運用是一項老師教導數學以及學生學習數學的重要基本元素之一，它不僅會影響數學如何被教導，而且也會增強學生的學習。足見無論中外觀點都認為，教師使用科技以提升學生的數學能力是重要且必須被關注的議題。

由於科技發展的突飛猛進，將科技導入教育以提升學生學習動機與成效已是世界潮流；而不同形式的科技結合各種教學模式也讓教與學展現百花齊放的樣貌。至今，我國科技融入教學的研究已經累積近千篇的相關文獻。而為了更統整性地探討科技對學生學習的成效，相關的後設分析也陸續發表，截至 2019 年 7 月共產出 19 篇。綜觀這 19 篇後設分析，發現科技應用於數學領域的研究數量最多。以王珀芬 (2010)、蘇國章 (2012) 及梁育維 (2013) 的研究為例。王珀芬的研究範圍為 2001 至 2008 年，結果顯示在總數 429 篇的研究中有 132 篇 (31%) 屬於數學領域；蘇國章的研究範圍為 2002 至 2011 年，在 454 篇研究中屬於數學領域者佔 131 篇 (29%)；而梁育維的研究年代為 2008 至 2012 年，在總數 722 篇中數學也佔了 138 篇 (19%)。足見近年來科技融入教學的研究以數學領域最多，此現象亦顯示科技融入數學領域的成效是學者們格外關注的議題。

Cheung 與 Slavin (2013) 整理的 21 篇科技融入數學教學的後設分析，其中 15 篇探討的領域除數學外也包含其他領域 (如，語文、社會、自然等)，另外 6 篇則是純粹探討科技融入數學領域的學習成效。此外，Young (2017) 也蒐集了 19 篇有關科技融入數學教學的後設分析，進行二階後設分析 (second-order meta-analysis)，可見國外針對此一主題的後設分析已有相當豐碩的文獻。反觀國內，至今雖累積了數量龐大的科技融入數學教學的研究，然而特別針對數學的學習成效進行後設分析的卻僅有徐千和 (2012) 一篇，且其研究只探討幾何畫板 (Geometer's Sketch Pad, GSP) 融入數學的教學成效。因此，對於科技融入數學教學的整體成效以及可能影響此成效的因素有那些？國內至今尚未有任何一篇後設分析發表，而國外已有 8 篇發表，含 Cheung 與 Slavin 及 Young。基於此，本研究乃以後設分析法，全面性地檢視科技融入數學教學對國中小學生學習成效的影響，希冀能對此議題獲致更完整且清晰的畫面，以提供教學者及政策制定者相關的參考。具體而言，本研究之研究問題如下：

(一) 科技融入數學教學對學生整體學習成效為何？

(二) 影響學生科技融入數學教學成效的調節變項為何？

1. 研究基本特質 (年級、出版形式、出版年代及數學學習主題) 調節變項對學生學習成效的影響為何？

2. 研究方法特質 (實驗設計、教學者偏誤、工具信度、樣本大小、及教學節數) 調節變項對學

生學習成效的影響為何？

3. 研究設計特質（實驗組教學方式、學習輔助設備、科技融入方式、及科技融入時機）調節變項對學生學習成效的影響為何？

文獻探討

（一）資訊科技融入教學的理論基礎

Jonassen（2000）的學習資訊科技三階段論，第一階段為「從電腦學」，意指學生透過電腦所提供的教材以及相對應的教學策略獲得知識，電腦成為知識傳授的來源，一如傳統以教師為主的教學法，學生仍是被動的接受知識。第二階段為「學電腦」，則是學生學習電腦相關知識以及操作電腦的技巧，電腦成為學習的主要內涵。第三階段為「用電腦學」，是將電腦作為學習的工具，學生透過電腦提供的學習情境或互動功能建構知識，教師不再是知識傳授的唯一來源，電腦也不再是學習的唯一內涵，學生與電腦成為伙伴關係。九年一貫課程中所揭示的資訊融入教學正符合「用電腦學」的概念。建構主義（constructivism）是晚近興起的一支學習理論。建構論者（constructivist）強調知識的建立源自於學習者本身的先備知識（prior knowledge）與學習情境互動所產生的結果（Matthews, 1994; Yager, 1991）。學習環境的建置以及學習活動的設計皆應以學習者為中心，教師的角色也應從知識的傳授者轉變為知識建立的協助者。而資訊科技融入教學的理念是將電腦、網路等科技在學習過程中的角色自「從電腦學」、「學電腦」轉變為「用電腦學」，使資訊科技成為學習者的伙伴，且在教師教學與學生學習的過程中成為有效的工具，以提升學生的學習動機與成效，可見資訊科技融入教學與建構主義者的主張其實是不謀而合的。

（二）國內科技融入教學之後設分析

國內至今有關科技融入教學的學習成效之後設分析共 19 篇，其中發表於 2000 到 2008 年則有 5 篇；2009 至 2013 年則有 14 篇。徐千和（2012）、洪良興（2009）及林貞均（2017）的研究只針對單一學科（依序為數學、體育及第二外語），而王思涵（2012）、黃聖凱（2011）、楊宛慈（2011）、陳羿伶（2011）、陳郁雯（2003）及鄭富美（2008）則是針對單一科技或是單一數位學習模式的研究進行後設分析。謝彩鳳（2010）探討數位化補救教學之成效，是唯一不是針對正式課堂教學所作的後設研究。另外，蘇國章（2012）及梁育維（2013）之研究特別針對資訊科技融入教學的趨勢。黃淑敏（2000）、張惠雯（2003）、蔡欣嘉（2006）及王珀芬（2009）的研究則與本研究較為相似，都是著重於科技的應用層面。最後蔡昆瀛等人（2010）、陳勇宏（2013）與鄭雅容（2013）則著重身心障礙者使用電腦輔助學習的成效，雖然三篇研究所針對的主題不同，但都證實科技輔助教學是有效的。整體而言，19 篇後設分析都顯示科技融入教學較之傳統教學有較為正向的成效。

徐千和（2012）的研究是在主題上與與本研究最為接近且是國內唯一檢測科技融入數學之學習成效的後設分析。該研究蒐集發表於 2001–2011 年間有關 GSP 融入數學教學成效的實證性研究共 25 篇並進行後設分析。結果顯示，整體的平均效果量為 0.27，顯示使用 GSP 融入數學科教學的成效顯著優於未使用 GSP 的傳統教學。此外，在調節變項的檢定中發現「研究年代」可能會影響整體成效。

（三）國外有關科技融入數學教學之後設分析

Cheung 與 Slavin（2013）所整理的 21 篇後設分析中有 15 篇探討的領域包含數學但也包含其他領域（如，語文、社會、自然等），其餘 6 篇（Burns, 1981; Hartley, 1977; Li & Ma, 2011; Rakes et al., 2010; Slavin & Lake, 2008; Slavin et al., 2009）則是純粹探討科技融入數學的學習成效。上述 21 篇後設分析在數學學習成效的 ES 總平均值為 0.31，顯示科技融入數學領域教學有低至中等程度的正向成效。但各後設分析的 ES 值差異頗大，範圍介於 0.10 至 0.62。以下針對這 7 篇後設分析做深入討論，其中包含 Cheung 與 Slavin。

Hartley (1977) 的研究針對使用科技輔助的個別化學習 (individually-paced instruction) 在學生數學上的成效。研究共收集了 22 篇文獻，學生年級介於 1-8，研究的 ES 總平均為 0.42。Burns (1981) 的研究主要探討電腦輔助教學在學生數學科的學習成效。該研究收集了 32 篇文獻，樣本為中小學學生，研究的 ES 總平均為 0.37，略低於 Hartley 的研究。

Slavin 與 Lake (2008) 及 Slavin 等人 (2009) 的兩篇研究主要分析三種有效的數學教學方案 (effective program)：數學課程 (mathematics curricula)、電腦輔助教學、及專業發展方案 (professional development program) 的學習成效。這兩篇後設分析並非只探討科技融入數學教學，也包含未使用科技的研究。在文獻的收集上他們訂定嚴格的品質標準，包括實驗期限必須超過 12 週、必須提供實驗組與對照組在前測能力上相等的證據、及兩組必須各有兩位以上的老師教學以避免教師效應的影響。2008 年的研究收集了 87 篇以國小生為樣本的研究，其中僅有 38 篇聚焦於電腦輔助教學，結果顯示 ES 總平均值為 0.19；2009 年的研究則以國高中生為樣本，共收集了 100 篇研究，其中 38 篇屬電腦輔助教學，總平均值為 0.10，略低於 2008 年的研究。在調節變項的分析方面，這兩篇後設分析都指出等組前後測 (有隨機分派樣本) 與不等組前後測 (無隨機分派樣本) 的研究，成效大致相同。

對於是否將研究品質列為篩選文獻的標準，學者間有不同的看法，Slavin 與 Lake (2008) 及 Slavin 等人 (2009) 顯然認為後設分析不應包含研究品質不佳的文獻。但 Christman 等人 (1997) 則認為僅選取期刊論文 (通常品質較佳) 而捨棄學位論文或未發表之論文 (通常品質較差) 將誇大整體 ES 值，因為研究結果達顯著效果的論文較可能被刊登。本研究在文獻取捨上將折衷兩派的觀點，既包含學位論文，但也設定一些品質篩選的標準 (詳見研究方法與步驟)。

Rakes 等人 (2010) 的研究探討科技融入課程、教學策略、學生使用的工具以及不同科技在代數上的學習成效。研究共收集了 82 篇文獻，其中與科技融入教學有關的共 36 篇。調節變項包括成效類別 (觀念理解 vs. 程序理解)、研究設計、實驗期程、與樣本大小。結果顯示 ES 總平均值為 0.16，科技融入顯著優於非科技融入教學，且發展觀念理解的研究其成效顯著優於發展程序理解的研究。Li 與 Ma (2011) 的研究聚焦於電腦科技對數學學習成效的影響。該研究收集了 46 篇以中小學為樣本的文獻，研究之 ES 總平均值為 0.28。調節變項包括學習階段、出版形式、發表年代、研究工具類型、教學方法、與實驗期程。結果顯示科技融入數學的成效，國小生優於中學生、特殊需求學生優於一般生、教學過程中融合建構主義於教學法的成效也優於傳統教法、使用非標準化評量工具的研究其成效優於使用標準化評量工具的研究。

Cheung 與 Slavin (2013) 的後設分析探討科技融入數學的學習成效。該研究收集了 74 篇以中小學生為樣本的文獻，樣本總數為 56,886，其中 45 篇為國小學生 ($N = 31,555$)，29 篇為中學生 ($N = 25,331$)。在文獻篩選上，他們比照 Slavin 與 Lake (2008) 與 Slavin 等人 (2009) 的研究品質標準。調節變項則包括出版形式、發表年代、研究設計、樣本大小、學習階段、科技類型、科技使用密度、與學生的社經地位。結果顯示 ES 總平均值為 0.15。然而不同類型的教學科技其成效也有差異，輔助型 (supplemental) 的 CAI 成效最佳 ($ES = 0.18$)，電腦管理學習 (computer-management-learning) 及綜合型程式 (comprehensive programs) 之 ES 則各為 0.08 與 0.07。此外，每週使用科技為 30-75 分鐘的研究，其成效顯著優於每週少於 30 或多於 75 分鐘的研究、不等組前後測的研究顯著優於等組前後測的研究、小樣本 ($N < 250$) 的研究顯著優於大樣本的研究。

Sokolowski 等人 (2015) 以後設分析法探討使用探索式電腦化環境 (exploratory computerized environments, ECEs) 對 1-8 年級學生數學問題解決的學習成效。該研究選擇發表於 2000-2013 年間的 24 篇期刊論文，調節變項包括學習階段、研究設計、評量工具、數學主題、教學支援方式、與實驗期程。結果顯示 ECEs 的學習成效顯著優於傳統教學 ($ES = 0.60$)。在調節變項方面，6-8 年級生的成效 ($ES = 0.65$) 顯著優於 4-5 年級生 ($ES = 0.41$)，其餘變項雖各有差異但皆未達顯著。

Young (2017) 的二階後設分析，從 65 篇科技融入數學教學的一階後設分析 (first-order meta-analysis) 中逐步篩選至 19 篇可用文獻，並選擇出版類型、發表年代、學習階段、科技功能、與研究品質為調節變項。結果顯示 ES 總平均值為 0.38。在調節變項的分析方面，品質較佳 ($ES = 0.16$) 的後設分析其平均 ES 顯著低於品質中等 ($ES = 0.46$) 或是品質較差 ($ES = 0.38$) 的後設分析。

另外，有些後設分析選擇特定的軟體，如 Tokpah (2008) 探討電腦代數系統 (computer algebra systems) 的教學成效，結果發現 ES 總平均值為 0.38，以及 Chan 與 Leung (2014) 探討動

態幾何軟體 (dynamic geometry software) 對數學學習成效的影響，顯示 ES 總平均高達 1.02；或以一個國家的文獻為範圍，如，Demir 與 Basol (2014) 以土耳其的 40 篇研究為範圍，也顯示高達 0.90 的總平均 ES。綜言之，這些研究的目標或範圍與本研究略有差異，但結果都足以證明科技融入數學教學的學習效果是正向的。

綜合上述後設分析，可歸納出以下幾點結論，首先，科技融入數學教學對學生的學習成效都是正向的，但各篇研究的效果值差異頗大。其次，大多數的研究文獻多以中小學為樣本，顯示科技融入大學（或以上）數學教學的文獻較少。目前研究者所收集到的 283 篇國內文獻也以中小學學生為樣本者居多，與國外的狀況頗為一致。最後，從上述文獻亦可歸納出影響科技融入數學學習成效的因素，包括發表年代、出版形式、學習階段、研究設計、實驗期程、科技類型、評量工具、教學方法、與數學主題。本研究因此以上述文獻為基礎發展出之調節變項為出版形式、發表年代、學習階段、數學學習主題、實驗設計、樣本大小、工具信度，另將實驗期程改為教學節數、科技類型改為學習輔助設備、教學方法改為科技融入方式。此外，為探討不同實驗分組方式，不同融入時機、以及實驗組與對照組為不同教師教學是否會影響學習成效，本研究另加上實驗組教學方式、科技融入時機、與教學者偏誤三變項。在後續的結果與討論以及結論中我們將比較上述後設分析的變項分析結果與本研究的異同之處。

方法與步驟

我們所採用之後設分析乃由 Borenstein 等人 (2009)、Hedge 與 Olkin (1985) 及 Lipsey 與 Wilson (2001) 等所建議的方法，其步驟包含 (1) 蒐尋所有相關文獻，(2) 依據設定之標準，篩選可用文獻，(3) 依據研究特性對可用文獻進行編碼，(4) 計算每篇文獻之效果量 (effect size, ES)，(5) 應用統計方法計算整體 ES 以及 ES 與研究特性間的關係。本研究旨在比較兩種教學法的學習成效因此有必要定義這兩種教學法。

第一種為科技融入數學教學：教師在數學科教學過程中使用數位科技（如，電腦、電子白板、平板電腦、智慧型手機等）融入教學。

第二種為傳統數學教學：指教師使用一般教具（如，黑板、紙、筆等）進行數學科教學。

(一) 研究步驟

1. 檢索相關文獻及研究報告

我們以「數學」、「科技」、「電腦」、「math」、「technology」、「computer」、「Taiwan」等為關鍵字或篇名，自「臺灣博碩士論文知識加值系統」、「華藝線上圖書館」、「臺灣期刊論文索引系統」、Scopus、EBSCOhost、ProQuest、ScienceDirect 及 Web of Science 等資料庫蒐尋，截至 2019 七月止共獲得相關中文摘要 813 篇，其中學位論文 499 篇，期刊論文 310 篇，會議論文 4 篇。英文部分則限定發表機構為臺灣之文獻，共獲得摘要 171 篇。至此，初步獲致之相關文獻共 984 篇。

2. 建立論文選用的標準

我們設定之論文篩選標準如下：

- (1) 主題必須是有關科技融入數學教學之實徵研究。
- (2) 研究對象限定為國內中、小學（含小學、國中、高中／職）之學生；非以學生為研究對象之研究將予剔除。
- (3) 實驗設計必須有實驗組與對照組，且實驗組採科技融入數學教學，對照組採傳統教學。單組實驗設計因缺乏對照組將予剔除。
- (4) 研究結果必須提供足夠之數據，如 a. 實驗組及對照組之平均數、標準差及各組樣本數；或 b. F 值及各組樣本數；或 c. t 值及各組樣本數，以便計算效果量。
- (5) 研究之實驗組及對照組的樣本需各有至少 15 人。樣本總數低於 30 人之研究將予剔除。
- (6) 研究需發表於 1993 至 2019 年間。

(二) 篩選可用之文獻

我們依據上述標準從 984 篇論文摘要中進行篩選，首先剔除與學習成效無關以及無法獲得全文之研究；其次針對重複的研究，如，學位論文又發表於期刊或研討會中（如，陳彥君，2010；陳彥君、董修齊，2010），則選擇提供較為完整統計資料之版本為原則。最終共有 282 篇符合選用標準，其中學位論文 260 篇，期刊論文 19 篇，研討會論文 3 篇；以中文發表者 272 篇，以英文發表者 10 篇（學位論文 1 篇、期刊論文 7 篇、研討會論文 2 篇）。（282 篇文獻列表詳見 <https://drive.google.com/file/d/16jFcUHx7pKTvmAN7i2DmSbdo0N028MAv/view?usp=sharing>）

(三) 設定研究變數與發展登錄表格

本研究之自變項為教學方式，依變項為學業成就，調節變項共 13 個，乃參考國內外相關後設分析後所發展出，並依其特性分為三大類：研究基本特質、研究方法特質及研究設計特質。各變項之意涵及編碼方式如表 1：

表 1
調節變項之分類與意涵

變項名稱	變項分類與意涵
研究基本特質	
學習階段	國小、國中、高中（職）。
數學學習主題	數與量、幾何、代數、其它、混合、未說明。 其它類包含機率與統計、函數、有限數學、坐標與向量幾何、線性代數。
出版形式	期刊論文、未發表論文（學位論文／研討會文）。
發表年代	1993–2003 年、2004–2009 年、2010–2014 年、2015–2019 年。
研究方法特質	
實驗設計	等組前後測、不等組前後測、對抗平衡設計。
教學者偏誤	相同教學者、不同教學者、實驗組無教學者、未說明。 乃指實驗組及對照組的授課教師是否相同。
工具信度	有提供實際檢測數據、有檢測但未提供數據、未說明。 指評量學習成效的工具是否經過信度檢測。
教學節數	1–5 節、6–10 節、11–15 節、16–20 節、21–25 節、> 25 節、未說明。 指實際進行教學實驗的節數。
樣本大小	小樣本（總人數 30–60）及大樣本（總人數 ≥ 61 ）。
研究設計特質	
實驗組教學方式	全班、分組教學、個人、混合、無教學。
學習輔助設備	傳統紙筆、電腦（含桌上型或筆記型）、手攜式載具（含平板電腦或智慧型手機）、即時反饋系統（如按按按）、混合、未說明。 指學習時所使用之硬體設備，不含軟體。
科技融入方式	溝通與互動、網頁主題探索學習（web-quest）、遊戲式學習、行動學習、翻轉學習。
科技融入時機	正式課程（課中）、補救教學（課中）、自我學習（課中）、課前、課後、混合。

(四) 統計分析

1. 計算效果量

本研究之依變項「學業成就」乃指學生在完成教學實驗後所接受之即時後測的成績。由於各

研究所使用之評量工具不盡相同，為使這些評量工具放在相同的標準上評比，後設分析以效果量（effect size，簡稱 ES）作為標準化的單位，定義為實驗組與對照組的平均數之差除以所有樣本之標準差。我們採用 Borenstein 等人（2009）之不偏 g 值計算 ES，並以 95% 信賴區間考驗 ES 之顯著性。計算 ES 的步驟有二：1. 若研究提供實驗組與對照組之平均數及標準差，則使用公式一；2. 若研究僅提供估算兩組差異之 F 值或 t 值及研究樣本數，則使用公式二或公式三。此外，若某一研究以多個構面或測驗來量測學業成就，以致產出多個 ES，為避免誇大單一研究的效果，乃將各研究之所有 ES 予以平均以求得單一 ES（Bar-Haim et al., 2007）。再者，小樣本研究可能產生的偏誤也依據 Borenstein 等人（2009）所提供之公式修正。最後，若任一研究的不偏 ES，超過整體 ES 之標準差達 3 倍以上，將視其為極端值（outlier）並予刪除，不再納入後續之分析（Lipsey & Wilson, 2001）。本研究各項資料的分析都使用 Comprehensive Meta-Analysis 3.0（CMA 3.0）軟體完成。

$$g_i = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s} \quad \text{公式一}$$

其中 X_1 為實驗組之平均數， X_2 為對照組之平均數， s 為所有樣本的標準差。

$$g = \sqrt{F} \sqrt{\frac{n1+n2}{n1n2}} \quad \text{公式二}$$

$$g = t \sqrt{\frac{n1+n2}{n1n2}} \quad \text{公式三}$$

其中 $n1$ 為實驗組之樣本數， $n2$ 為對照組之樣本數。

2. 同質性檢定與調節變項分析

同質性檢定（homogeneity test）的目的是為了檢驗從收集到的研究所測得之 ES 是否估算相同的構念，亦即各研究間所顯示的差異是否源自同一母群體的抽樣誤差（廖遠光，2012）。同質性檢定分為固定效果模式（fixed effect model）及隨機效果模式（random effect model）。固定效果模式係假設所有研究的效果量之變異是同質的且確實在估算一個共同的 ES（common effect-size parameter），此模式對於調節變項之檢驗有較高的統計力（Lipsey & Wilson, 2001）；而隨機效果模式則假設 ES 的變異不是源自相同的母群體，換言之，各研究間的變異可能源自於不同母群體的抽樣誤差，因此，可將研究結果推論至未納入本次分析之研究報告（Raudenbush, 1994; Schmidt et al., 2009）。我們以 Cochran 的 Q 檢驗作為同質性檢定的標準，若 Q_T 未達顯著，表示研究間的變異為同質，可直接將 ES 合併以求得整體之平均 ES，並進行平均 ES 的顯著性考驗（計算整體 ES 之 95% 的信賴區間）；反之，若 Q_T 達顯著，表示各 ES 的變異並非來自抽樣誤差或各研究間 ES 的差異，可能有其它調節變項影響了整體成效，需進一步進行調節變項的分析。當分析個別調節變項（如，樣本的學習階段）時的 Q_B 達顯著，表示此調節變項之不同類別（如，國小學生 vs. 國中學生）的 ES 達顯著差異。一般而言，固定或隨機效果模式的選擇是依據 Q_T 是否達顯著，若 Q_T 未達顯著則採用固定效果模式，反之，則使用隨機效果模式。另一種判斷方式為觀察同質性檢定的 I^2 值（研究間的變異量占總變異量的百分比），數值愈大表示變異量愈大，若 I^2 值低於 25% 時，代表各研究間有極佳的同質性，適合使用固定效果模式來估算平均 ES；反之，若 $I^2 > 75\%$ ，顯示異質性極高，則建議使用隨機模式來估算平均效果量（Higgins et al., 2003）。本研究之目的在探討科技融入數學教學之整體成效，更期望能進一步找出影響成效之調節變項。故同時以兩種模式估算平均效果量。然而在檢驗調節變項時則以 I^2 值之大小來決定使用何種分析模式。

3. 檢驗出版偏差

檢驗出版偏差是為了估算是否有太多未發表或無法取得之研究未納入本後設分析，以致影響了研究結果。檢驗的方式有許多種，我們採用最常用的 Funnel Plot、Rosenthal (1979) 之 fail-safe N 、以及 Orwin (1983) 之 fail-safe N 來檢驗出版偏差。根據 Rosenthal (1979)，fail-safe N 的數值應至少大於 $5k+10$ (k 為研究總篇數)，才能確保出版偏差不致影響研究結果。

4. 編碼者信度檢驗

符合標準之研究，需經詳細閱讀與分析，並將內容依據調節變項之編碼，登錄於表格中（廖遠光，2012）。每一篇研究的編碼以及 ES 的計算皆須經過至少兩位編碼者獨立處理，並於處理後檢核兩者結果的一致性。本研究之編碼工作由兩位研究者擔任，每位編碼者獨立進行各篇研究之編碼及 ES 計算，兩人編碼的一致性結果分別為：編碼 0.87、ES 計算 0.85，符合 Landis 與 Koch (1977) 所稱 Kappa 值為 0.81–1.00 為高度 (almost perfect) 一致性強度原則。而針對兩人在編碼與 ES 計算之相異處則再進行討論，務必達成共識。

結果與討論

(一) 科技融入數學教學之整體成效

所有文獻經慎重篩選後，最後選定符合標準之研究共 282 篇，包含 20,190 個學生（實驗組 10,081，對照組 10,109），其中 6 篇研究的 ES 大於整體標準差 (0.51) 三倍以上，因此將這些研究予以刪除（廖遠光、張澄清，2016；Lipsey & Wilson, 2001），不再納入後續之分析，剩餘之研究共 276 篇。整體學習成效之描述性統計詳見表 2。276 篇之 ES 介於 -0.87 至 1.45，固定效果與隨機效果模式之平均 ES 各為 0.32 與 0.35。根據 ES 的計算公式可知，當 ES 為正數時，表示實驗組優於對照組；當 ES 為負數時，表示對照組優於實驗組。此外，95% 信賴區間為 0.30-0.35（固定效果模式）與 0.31-0.39（隨機效果模式）且皆不包含 0，而 $z = 24.31$ ($p < .0001$) 與 17.54 ($p < .0001$) 皆達顯著，說明實驗組的成效顯著優於對照組。因此無論是採用哪一種模式，都顯示科技融入數學教學的成效顯著優於傳統教學。根據 Cohen (1992) 對於後設分析 ES 值之界定標準：當 ES 值為 0.20 左右時，其效果代表「微量」(small)；當 ES 值為 0.50 左右時，其效果代表「中度」(medium)；當 ES 為 0.80 左右時，其效果代表「強烈」(large)。因此，整體而言科技融入數學教學的成效是介於微量至中度的效果。再者，依據 Gall 等人 (1996) 的觀點，當 ES 大於 0.33 時可視為具有實務應用之重要性，可見科技融入數學教學在提升學生學業成就上的成效，不僅獲得研究數據上的支持，更具有實務應用的價值。

徐千和 (2012) 的後設分析顯示整體的平均 ES 為 0.27；國外 7 篇後設分析的平均 ES 介於 0.10 (Slavin et al., 2009) 至 0.42 (Hartley, 1977)，ES 的總平均為 0.23，都略低於本研究的 0.32（固定模式）與 0.35（隨機模式）。Young (2017) 二階後設分析的平均 ES 為 0.38，則稍高於本研究。綜言之，各研究的平均 ES 雖有不同但差異不大。相同之處則是，無論國內外的研究都顯示科技融入數學教學對學生的學習成效是介於微量至中度的正向效果。

表 2
科技融入數學教學之整體成效

分析模式	k	ES ⁺	z	SE ²	95% CI	Heterogeneity	df	I^2
固定效果	276	0.32	24.31***	0.01	[0.30~0.35]	582.37***	275	52.78
隨機效果	276	0.35	17.54***	0.02	[0.31~0.39]			

¹ES⁺ = 整體平均 ES。

²SE = standard error。

*** $p < .0001$.

(二) 同質性檢定與調節變項分析

如表 2 所示，同質性檢定以 Cochrane 之 Q 檢測後 達顯著差異 ($Q_T = 582.37, p < .0001$)，表示各研究間所顯示的差異不是源自同一母群體的抽樣誤差，有必要針對各調節變項作進一步的檢驗。然而 $I^2 = 52.78\%$ ，顯示各研究間的變異量為中度，低於 Higgins 等人 (2003) 所建議的判定值 ($I^2 > 75\%$)，且 276 篇研究的 ES 整體標準誤為 0.01，也顯示相當低度的變異性，因此我們決定採用固定效果模式進行後續調節變項的分析。表 3、表 5 與表 6 依序詳列了研究基本性質、研究方法性質及研究設計性質的各調節變項檢驗結果。在 13 個調節變項中共有 10 個的 Q_B 達顯著差異，顯示各變項之組間有顯著差異存在，須進一步探討。這 10 個變項分別為學習階段 ($Q_B = 16.42, p < .001$)，數學學習主題 ($Q_B = 25.58, p < .001$)，出版形式 ($Q_B = 4.42, p < .05$)，發表年代 ($Q_B = 10.79, p < .05$)，實驗設計 ($Q_B = 13.59, p < .01$)，樣本大小 ($Q_B = 5.94, p < .05$)，教學節數 ($Q_B = 13.64, p < .05$)，實驗組教學方式 ($Q_B = 26.81, p < .01$)，學習輔助設備 ($Q_B = 23.48, p < .001$) 及科技融入時機 ($Q_B = 19.23, p < .01$)。以下針對這 10 個變項進行分析與討論。但對於各變項中未達 5 篇的組別，由於篇數太少，影響有限，將不列入討論。

1. 研究基本特質

(1) 學習階段。從表 3 可知，學習階段分為國小、國中及高中。以國小生為對象的研究最多，達 168 篇 (60.9%)，國中生 90 篇 (32.2%) 次之，高中 (職) 生僅 19 篇 (6.9%)。參與實驗的樣本數依學習階段逐步遞減，這或許與升學壓力有關，依照國內目前的升學制度，國中與高中階段各有不同程度的升學壓力，導致參與實驗的意願降低。其次就學習成效而言，三個階段的平均 ES 依序為 0.37 ($z = 20.58, p < .001$)，0.29 ($z = 12.48, p < .001$) 與 0.21 ($z = 5.30, p < .01$)，皆為正數且達顯著，顯示三階段學生的實驗組成效都顯著優於對照組。而 ES 依學習階段逐步遞減，且國小生顯著優於高中 (職) 生，說明年級愈低，成效愈佳。這或許是因為年級愈高的學生發展自我導向學習的能力愈強，受教師教學方式影響的程度也較小，因此教師是否使用科技於教學對學生學習成效的影響也相對減少。

表 3
研究基本特質調節變項的統計分析

調節變項	k	%	ES	z	95% CI	Q_B	Post hoc
學習階段							
1. 國小	168	60.9	0.37	20.58***	[0.33~0.40]	16.42***	1 > 3
2. 國中	89	32.2	0.29	12.48***	[0.25~0.34]		
3. 高中 (職)	19	6.9	0.21	5.3**	[0.13~0.28]		
數學學習主題							
1. 數與量	121	44.0	0.35	16.79***	[0.31~0.39]	25.58***	
2. 幾何	85	30.8	0.28	11.27***	[0.23~0.32]		6 > 1,2,3,4,5
3. 代數	39	14.1	0.38	10.8***	[0.31~0.45]		
4. 其它	22	8.0	0.26	6.98***	[0.19~0.34]		
5. 混合	7	2.5	0.29	3.53***	[0.13~0.46]		
6. 未說明	2	0.7	1.11	5.46***	[0.71~1.51]		
出版形式							
1. 期刊論文	17	6.2	0.44	7.70***	[0.33~0.55]	4.42*	
2. 未發表論文	259	93.8	0.32	23.15***	[0.29~0.34]		
發表年代							
1. 1993~2003	17	6.2	0.30	5.51***	[0.19~0.40]	10.79*	2 > 3

(續下頁)

表 3
研究基本特質調節變項的統計分析 (續)

調節變項	<i>k</i>	%	ES	<i>z</i>	95% CI	Q_B	Post hoc
2. 2004–2009	97	35.1	0.38	16.85***	[0.33~0.42]		
3. 2010–2014	122	44.2	0.28	14.59***	[0.24~0.32]		
4. 2015–2019	40	14.5	0.34	8.62***	[0.27~0.42]		

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

(2) **數學學習主題**。如表 3 所示，關於數學學習主題的分類，本研究以教育部於 2006 年修訂的九年一貫課綱中之數學領域及高中職 99 課綱內容為主。國中小為「數與量」、「幾何」、「代數」與「統計與機率」四大主題，高中職則分為「函數」、「有限數學」、「坐標與向量幾何」與「線性代數」四大主題（教育部，2008，2009）。由於「統計與機率」、「函數」、「有限數學」、「坐標與向量幾何」及「線性代數」等領域篇數較少，因此歸類為「其它」。在 276 篇的研究中以「數與量」的篇數最多，共 121 篇（44%），其次為幾何的 85 篇（30.8%），及代數的 39 篇（14.1%）。此現象應該是與超過 90% 的研究聚焦在國中小學生有關。在學習成效方面，所有主題皆達顯著，表示科技融入任何數學主題教學對學生學習成效都顯著優於傳統教學。此外，「代數」（ES = 0.38）略優於「幾何」（ES = 0.28）與「其它」（ES = 0.26），表示科技融入「代數」的效果最佳。然而進一步就學習階段與數學主題交叉分析（詳見表 4）發現國小生在「數與量」（ES = 0.37 vs. ES = 0.21）及「幾何」（ES = 0.34 vs. ES = 0.20）上的表現顯著優於國中生，而國中生則在「代數」上略優於國小生（ES = 0.42 vs. ES = 0.36）。此外，國中生在「代數」（ES = 0.42）上的表現顯著優於「數與量」（ES = 0.21）及「幾何」（ES = 0.20）。這可能與國中小學生在不同年齡的認知發展有關。根據皮亞杰（Piaget）認知發展理論，學童在 7–11 歲時屬具體運思期，能根據具體經驗以解決問題，而 11 歲以上則屬形式運思期，能做抽象思考（張春興，2007），「數與量」與「幾何」具備較多圖像與空間的表徵特性，對於仍在具體運思期的國小生而言可能有較佳的學習效果；而「代數」則需使用較多的抽象符號，對已具備形式運思能力的國中生而言或許較易理解。

表 4
學習階段與數學學習主題的交叉分析

調節變項	數與量			幾何			代數		
	<i>k</i>	%	ES	<i>k</i>	%	ES	<i>k</i>	%	ES
學習階段									
國小	109	90.1	0.37*	48	56.5	0.34*	4	10.3	0.36
國中	12	9.9	0.21	37	43.5	0.20	34	87.2	0.42 [#]
高中	0	0.0	0.00	0	0.00	0.00	1	2.6	-0.57*

* 表示各欄間達顯著差異，如，國小生在「數與量」及「幾何」的 ESs 顯著高於國中生。

[#] 表示各列間達顯著差異，如，中生在「代數」的 ES 顯著高於「幾何」及「數與量」。

(3) **出版形式**。從表 3 可知，出版形式分為期刊論文與未發表論文（如，學位論文／研討會論文）。以研究數量言，未發表論文的 259 篇（93.8%）明顯多於期刊論文的 17 篇（6.2%）。這似乎已是國內後設分析的常態，原因之一或許是大量的學位論文能發表於期刊的機會不大。其次，就學習成效來看，期刊論文（ES = 0.44）顯著優於未發表論文（ES = 0.32），可見能呈現顯著學習成效的研究比較容易受到期刊主編的青睞。

(4) **發表年代**。探討發表年代是希望能看出一個研究議題的發展趨勢。本研究 276 篇文獻所涵蓋的年代為 1993–2019 年，幾乎達 3 個十年。我們將之分為 1993–2003 年、2004–2009 年、2010–2014 年及 2015–2019 年四個時期；除了第一個時期因篇數較少，以 10 年計，其餘皆以 5–6 年計。以發表篇數論，2010–2014 年最多，達 122 篇（44.2%），其次為 2004–2009 年，共 97 篇（35.1%），

而 1993–2003 年僅有 17 篇 (6.2%)，這或許是因為該時期科技運用於數學教學尚未普及。2015–2019 年僅有 40 篇 (14.5%)，則因為我們的文獻蒐截止於 2019 年七月，有些學位論文可能尚未發佈。2004–2014 年這 10 年間的研究幾乎佔了所有文獻的八成 (79.3%)，可能是因為這段時間國家大力推動科技融入教學的政策，且師生對於使用科技也較為熟稔，促使研究量倍增。在學習成效方面，四個時期的平均 ES 皆達顯著，表示無論哪個時期的研究結果，科技融入數學教學的成效都顯著優於傳統教學。而其中以 2004–2009 年的成效最佳 (ES = 0.38)，且顯著優於 2010–2014 年 (ES = 0.28)。

2. 研究方法特質

(1) 實驗設計。實驗設計是否嚴謹足以影響研究的品質 (李漢岳等人, 2017)。表 5 顯示，本研究將實驗設計分為三類：等組前後測、不等組前後測，以及交互平衡 (counterbalancing)。就發表數量而言，等組前後測僅有 6 篇 (2.2%)，不等組前後測則有 269 篇 (97.5%)，而交互平衡僅有 1 篇 (0.04%)。可見在 276 篇研究中絕大多數的研究使用了不等組前後測。教學實驗常受到學校分班授課的限制，實施隨機分派樣本確實有其難度，這或許足以說明為何超過 95% 的實驗設計為不等組前後測。然而從實務的角度觀之，此種設計的結果或許更能貼近學校教學的實貌。其次就學習成效而言，採交互平衡的研究 (ES = 0.87) 顯著優於採等組前後測 (ES = 0.40) 與不等組前後測 (ES = 0.32) 的研究，然而採交互平衡的研究僅有一篇，因此不做進一步討論。採等組前後測的研究其成效優於採不等組前後測的研究，或可說明較為嚴謹的實驗設計可產出較佳的學習成效。

(2) 樣本大小。樣本大小是一個可能影響研究結果的變項 (Cheung & Slavin, 2013; Slavin & Smith, 2009)。本研究刪除了總樣本數低於 30 的研究，因此將樣本大小分為兩類：小樣本 ($N = 30-60$) 與大樣本 ($N \geq 61$)。小樣本研究共有 114 篇 (41.3%)，而大樣本研究有 162 篇 (58.7%)，說明後者仍占多數。在學習成效方面，小樣本研究 (ES = 0.37) 顯著高於大樣本研究 (ES = 0.30)。

(3) 教學節數。一般後設分析多以實驗開始至結束的整個期程作為分類的標準，然而實驗期程長不代表教學的節數多 (如，一週一節，10 週共 10 節)；反之，短期程也不表示教學節數少 (如，一週四節，5 週共 20 節)，因此，我們認為以實際教學節數作為分類標準應更能反應實驗時間的長短對學習成效的影響。本研究的教學節數分為「1–5 節」、「6–10 節」、「11–15 節」、「16–20 節」、「21–25 節」、「> 25 節」及「未說明」7 類。就研究篇數而言，「6–10 節」最多，共 100 篇 (36.2%)，其次為「1–5 節」的 68 篇 (24.6%)，兩者合計已超過總篇數之 60%，可見短期程 (1–10 節) 的研究仍屬大宗。另就學習成效來說，「1–5 節」(ES = 0.32)、「6–10 節」(ES = 0.37) 與「11–15 節」(ES = 0.37) 的平均 ES 都高於 0.30，且以「6–10 節」與「11–15 節」最高，皆達 0.37；而「16–20 節」(ES = 0.25)、「21–25 節」(ES = 0.23)、「> 25 節」(ES = 0.26) 的平均 ES 都低於 0.30，且以「21–25 節」最低。此外，「6–10 節」也顯著高於「16–20 節」。整體結果似乎顯示教學節數介於 1 至 15 節的研究其學習成效優於高於 15 節的研究。

表 5
研究方法特質調節變項的統計分析

調節變項	<i>k</i>	%	ES	<i>z</i>	95% CI	Q_B	Post hoc
實驗設計							
1. 等組前後測	6	2.2	0.40	3.43***	[0.17–0.62]	13.59*	3 > 1, 2
2. 不等組前後測	269	97.5	0.32	23.66***	[0.29–0.34]		
3. 交互平衡	1	0.4	0.87	5.74***	[0.57–1.17]		
教學者偏誤							
1. 相同教學者	166	60.1	0.33	18.11***	[0.29–0.36]	7.74	
2. 不同教學者	84	30.4	0.29	13.24***	[0.25–0.34]		
3. 實驗組無教師	8	2.9	0.40	4.78***	[0.23–0.56]		

(續下頁)

表 5
研究方法特質調節變項的統計分析（續）

調節變項	<i>k</i>	%	ES	<i>z</i>	95% CI	<i>Q_B</i>	Post hoc
4. 未說明	18	6.5	0.44	8.51***	[0.34~0.54]		
工具信度							
1. 有提供實際數據	169	61.2	0.35	20.56***	[0.31~0.38]	5.84	
2. 有檢驗未提供數據	10	3.6	0.36	4.59***	[0.21~0.51]		
3. 未說明	97	35.1	0.28	12.36***	[0.23~0.32]		
樣本大小							
1. 小樣本（30-60）	114	41.3	0.37	15.11***	[0.33~0.42]	5.94*	1 > 2
2. 大樣本（≥ 61）	162	58.7	0.30	19.19***	[0.27~0.33]		
教學節數							
1. 1-5 節	68	24.6	0.32	11.78***	[0.26~0.37]	13.64*	2 > 4
2. 6-10 節	100	36.2	0.37	16.00***	[0.32~0.41]		
3. 11-15 節	38	13.8	0.37	10.00***	[0.30~0.45]		
4. 16-20 節	30	10.9	0.25	6.89***	[0.18~0.32]		
5. 21-25 節	10	3.6	0.23	4.07***	[0.12~0.34]		
6. > 25 節	14	5.1	0.26	4.57***	[0.15~0.37]		
7. 未說明	16	5.8	0.29	5.00***	[0.18~0.40]		

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

3. 研究設計特質

（1）實驗組教學方式。表 6 顯示，實驗組教學方式分為「全班一起授課」，「分小組授課」、「個人」、「混合」及「無教學」。以研究篇數而言，「全班一起授課」佔絕大多數，共有 204 篇（73.9%），顯示科技融入數學教學仍以大班教學最普及。其次為「分小組授課」，共 47 篇（17%）；「個人」及「混合」的篇數都低於 10%。Liao（2007）以後設分析探討我國電腦輔助教學對學生學習成效的影響，該研究顯示歸類於「個人」的篇數最多，共 21 篇（39%），大組教學僅有 13 篇（24%）。相較之下本研究有超過七成的研究歸類為「全班一起授課」，略顯意外。而在學習成效方面，「個人」的平均 ES（0.63）最高，且顯著優於「全班一起授課」（ES = 0.32），「分小組授課」（ES = 0.28）及「混合」（ES = 0.22），顯示科技融入數學教學以一人一機的個人化教學成效最佳。

表 6
研究設計特質調節變項的統計分析

調節變項	<i>k</i>	%	ES	<i>z</i>	95% CI	<i>Q_B</i>	Post hoc
實驗組教學方式							
1. 全班	204	73.9	0.32	20.72***	[0.29~0.35]	26.81**	
2. 分小組	47	17	0.28	9.12***	[0.22~0.35]		3 > 1, 2, 4
3. 個人	14	5.1	0.63	9.41***	[0.50~0.77]		
4. 混合	10	3.6	0.22	3.35**	[0.09~0.35]		
5. 無教學	1	0.4	0.71	2.33*	[0.11~1.30]		
學習輔助設備							
1. 傳統紙本	101	36.6	0.32	14.82***	[0.28~0.36]	23.48***	
2. 電腦／筆電	128	46.4	0.34	16.97***	[0.30~0.38]		4 > 1, 5
3. 手攜式載具	20	7.2	0.35	6.95***	[0.25~0.44]		1, 2, 3 > 5

（續下頁）

表 6
研究設計特質調節變項的統計分析 (續)

調節變項	<i>k</i>	%	ES	<i>z</i>	95% CI	Q_B	Post hoc
4. 即時反饋系統	13	4.7	0.50	7.25***	[0.37~0.64]		
5. 混合 (如未來教室)	9	3.3	0.13	2.32*	[0.02~0.24]		
6. 未說明	5	1.8	0.07	0.58	[-0.16~0.30]		
科技融入方式							
1. 互動與溝通	191	69.2	0.32	20.13***	[0.29~0.36]	7.30	
2. 網頁主題探索	37	13.4	0.33	9.40***	[0.26~0.40]		
3. 遊戲式學習	25	9.1	0.40	8.42***	[0.30~0.49]		
4. 行動學習	15	5.4	0.27	5.23***	[0.17~0.38]		
5. 翻轉教學	8	32.9	0.18	2.50*	[0.03~0.32]		
科技融入時機							
1. 課中 - 正式課程	239	86.6	0.34	23.40***	[0.31~0.36]	19.23**	
2. 課中 - 補救教學	11	4.0	0.42	5.00***	[0.26~0.59]		1, 2 > 6
3. 課中 - 自我學習	11	4.0	0.36	5.49***	[0.23~0.49]		
4. 課前	1	0.4	0.10	0.51	[-0.28~0.48]		
5. 課後	5	1.8	0.12	1.27	[-0.07~0.31]		
6. 混合 (如翻轉教學)	9	3.3	0.13	2.35*	[0.02~0.25]		

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

(2) 學習輔助設備。本研究所蒐集的文獻橫跨近 30 年，其間科技的發展日新月異，應用於數學教學的輔助設備也相當多元。學習輔助設備分為「傳統紙筆」、「電腦／筆電」、「手攜式載具 (平板電腦／手機)」、「即時反饋系統」、「混合」、及「未說明」6 類。將「傳統紙筆」視為學習輔助設備是指當教師使用播放系統 (如, PowerPoint) 進行大班教學時，學生單純的以紙筆學習。以研究數量論，「傳統紙筆」的 101 篇 (36.6%) 與「電腦／筆電」的 128 篇 (46.4%)，佔了八成以上，或許是因為這兩種輔具在教室中取得較易。然而在學習成效上卻是「即時反饋系統」(ES = 0.50) 最佳，且顯著優於「傳統紙筆」(ES = 0.32) 與「混合」(ES = 0.13)。推測或許是因為反饋裝置為即時回饋系統，教師能從回饋結果即時修正教學方式，學生也能從此系統中即時檢驗學習結果，因此能獲得較佳的學習成效。

(3) 科技融入時機。一般而言，科技融入教學的時機分為課中、課前與課後，本研究將課中再細分為「正式課程」、「補救教學」及「自我學習」，加上「課前」、「課後」及「混合」共 6 類。以研究篇數論，「正式課程」有 239 篇 (86.6%)，已超過八成五，可見大多數的數學教師選擇將科技融入正式課程中，此現象大致呼應了前述有 73.9% 的課為「全班一起授課」的發現。其次就學習成效而言，「正式課程」(ES = 0.34)、「補救教學」(ES = 0.42)、「自我學習」(ES = 0.36) 及「混合」(ES = 0.13) 都達顯著 (95% CI 不包含 0)，表示將科技融入數學「課中」或「混合」，其成效顯著優於傳統教學，而「課前」(ES = 0.10) 與「課後」(ES = 0.12) 則未達顯著。由於「課前」與「課後」都少於五篇，不再討論。此外，「正式課程」與「補救教學」的成效又顯著優於「混合」。整體而言，科技融入數學教學仍以在「課中」進行最為普及且效果最好。用於「補救教學」雖成效最佳，但僅有 11 篇，因此不宜過度推論。

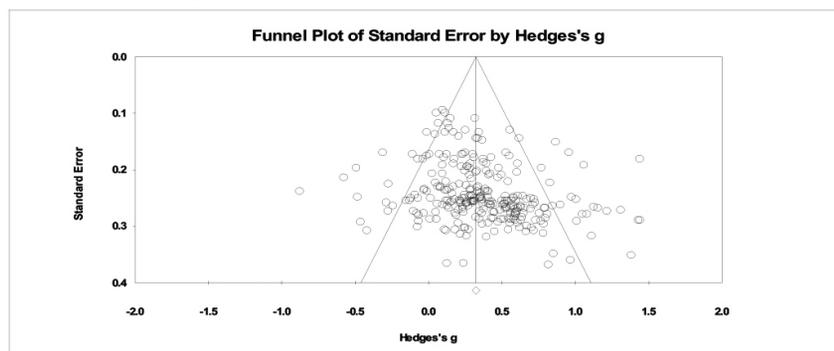
(三) 出版偏差之檢測

本研究採用 Funnel Plot、Rosenthal (1979) 之 fail-safe 及 Orwin (1983) 之 fail-safe 三種方式檢測出版偏差。Funnel Plot 的結果如圖 1 所示，276 篇研究的 ES 分布情形大致呈現左右對稱，表

示無出版偏差的現象 (Borenstein et al., 2009, p. 283)。其次 Rosenthal 之 fail-safe $N = 5580$ ，遠大於容許值 1395；此外，當 criterion 設為 0.01 時，Orwin 之 fail-safe $N = 8653$ 。兩數據明確顯示需有超過 5580 或 8653 篇未出版或未尋獲的研究方足以影響本後設分析的結果，在實務上的可能性甚低，因此，可以確認出版偏差無法推翻本研究的結果。

圖 1
標準誤與 ES 的 Funnel Plot

標準誤與 ES 的 Funnel Plot



結論與建議

(一) 結論

我國資訊教育的發展是從電腦輔助教學開始，經由電腦課程的實施，到九年一貫課程中的資訊融入教學 (張國恩, 2002)。拜近 30 年來突飛猛進、日新月異的科技發展所賜，再歷經教育部 (2001)「中小學資訊教育總藍圖」、2008–2011 年「中小學資訊教育白皮書」及 2016–2020 年「資訊教育總藍圖」等重大政策的推動，科技融入教學已成課堂常態，也是每位教師必備的能力。如前所述，無論是九年一貫課程綱要所楊藜的能力本位導向，抑或是十二年國民基本教育課程綱要所強調的素養導向，科技與數學的結合皆為數學學習領域的重點，運用科技解決數學問題，乃至於生活上的問題都是學生在數學課中必須習得的能力與素養。然而，學生的「數學恐懼感」或是「數學焦慮症」卻也是相當普及的現象。如何透過更有趣且有效的教學方式，提升學生學習數學的興趣及成效，實為現今數學教育者的挑戰，也是這波教改必須面對的重要課題。

本研究運用後設分析法深入探討近 30 年來我國科技融入中小學數學教學的成效。透過對 282 篇實徵研究的統整分析，發現科技融入數學教學在提升學生學業成就的表現上顯著優於傳統課堂教學；整體平均 ES 為 0.32 (固定效果模式)，介於微量至中度的成效。若將 0.32 轉換為百分位數 (percentile score)，約等於 63 百分位數，代表科技融入數學教學能將學習成效由 50 百分位數提升至 63 百分位數。換言之，學生經驗科技融入數學教學後的學習成效能提升 13 個百分位數。當許多教育先進正戮力思考如何改善國內中小學數學教學以提升學習成效與學習動機時，本研究提供學校教師一個以累積研究為本的教學方式。此外，在調節變項的分析上也獲致以下結論，當實施科技融入數學科教學時：

1. 國小學生的成效顯著優於高中 (職) 生

本研究的結果顯示，學習成效依學習階段逐步遞減，且國小生顯著優於高中 (職) 生，說明年級愈低，成效愈佳。Li 與 Ma (2010) 的研究發現科技融入數學教學的成效，國小的 ES 為 0.78，中學為 0.61；Cheung 與 Slavin (2013) 的研究則是國小的 ES 為 0.17，中學為 0.15。本研究的發現

雖在 ES 的程度上與他們有差異，但針對國小至高中的學生，科技融入數學教學的成效都顯著優於傳統教學，且國小生的成效優於中學生的結果卻是一致的。

2. 在數學學習主題方面

學習階段與學習主題產生交互作用，國小生在「數與量」及「幾何」上的表現顯著優於國中生而國中生則在「代數」上略優於國小生。此外，國中生在「代數」上的表現顯著優於「數與量」及「幾何」。Tokpah (2008) 探討應用電腦代數系統 (CAS) 教學，對高中以上學生數學學習成效的影響，研究發現，整體平均 ES 達 0.38，使用 CAS 的成效顯著優於未使用 CAS 的學生。該研究僅應用一種電腦軟體，且研究對象也非國中小學生，與本研究不盡相同，但研究結果也證明科技融入代數教學對學生學習成效是有助益的。

3. 在出版形式方面

未發表論文遠多於期刊論文，但期刊論文的學習成效，顯著優於未發表論文，顯示品質較佳的研究其學習成效顯著優於品質較差的研究。Young (2017) 的二階後設分析指出品質較佳 (ES = 0.16) 的後設分析其平均 ES 顯著低於品質中等 (ES = 0.46) 或是品質較差 (ES = 0.38) 的後設分析。與本研究的結果顯然不同。唯 Young 的研究對論文品質的判定是依據一個標準化的工具 (Adapted Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews Items)，且其分析的文獻皆為後設分析，因此結果與本研究有差異，亦屬合理。

4. 在發表年代上

本研究發現發表於 2004–2009 年的研究其成效顯著優於 2010–2014 年的研究。徐千和 (2012) 以 GSP 融入數學教學之成效進行後設分析，結果顯示 2006 至 2011 年的成效優於 2000 至 2005 年。Li 與 Ma (2010) 的後設分析則指出發表於 1999 年之前的研究其平均 ES 為 0.42，而 1999 年之後者倍增至 0.99，此外，Cheung 與 Slavin (2013) 的研究則發現 80 年代、90 年代及 2000 年後的平均 ES 分別為 0.23、0.15 與 0.12。可見國外的研究與本研究的結果不甚一致，然而可確認的是，以目前的研究數據尚無法看出科技融入數學教學研究的發展趨勢。

5. 在實驗設計方面

本研究發現採等組前後測的研究其成效優於採不等組前後測的研究，說明較為嚴謹的實驗設計可產出較佳的學習成效。Slavin 與 Lake (2008) 及 Slavin 等人 (2009) 的兩篇研究指出等組前後測與不等組前後測的研究，成效大致相同。Cheung 與 Slavin (2013) 的後設分析則發現不等組前後測的研究顯著優於等組前後測的研究。本研究的結果顯然與他們不甚一致。但因為屬於等組前後測的研究僅有 6 篇，本結果在推論時仍應保守看待。

6. 在樣本大小上

本研究指出，小樣本研究之成效顯著優於大樣本研究。Cheung 與 Slavin (2013) 的研究指出小樣本研究 ($N < 250$) 的學習成效 (ES = 0.26)，顯著優於大樣本研究 ($N > 250$) 的學習成效 (ES = 0.12)。該研究與本研究，雖然對樣本大小的定義不同，但研究發現卻是一致的。另外，有些科技融入教學的後設分析 (如，Cheung & Slavin, 2011; Liao, 2007) 雖非聚焦在數學，也有相同的發現。因此，無論中外，在科技融入教學的研究中，小樣本的學習成效優於大樣本似乎已是個常態。

7. 在教學節數方面

本研究發現，教學節數介於 1 至 15 節的研究其學習成效優於超過 15 節的研究。方瑀紳與李隆盛 (2015) 曾指出，數位學習有助於學習者在短時間內獲致相較於傳統教育較高的學習成效，然而若時間拉長，則兩者並無差異。Li 與 Ma (2010) 的後設分析也發現，實驗期程「少於一學季」(term)

的研究 ($ES = 0.88$)，其成效高於「一學季至一年」($ES = 0.57$)以及「多於一年」($ES = 0.55$)的研究。Chan 與 Leung (2014) 的研究也發現研究期程少於兩週的研究，其成效優於多於兩週的研究。本研究與上述研究的結果頗為一致。此外，Cheung 與 Slavin (2013) 則以教學的密度作為分類的標準，他們的研究顯示，中密度教學（每週 30–75 分鐘）成效最佳 ($ES = 0.20$)，其次為高密度（每週多於 75 分鐘）($ES = 0.14$)，而低密度（每週少於 30 分鐘）($ES = 0.01$) 成效最差。雖然分類方式不盡相同，但本研究以「6–10 節」、「11–15 節」的成效最佳，或許可等同於該研究之中密度吧。

8. 在實驗組教學方式上

本研究指出「全班一起授課」為最普及的教學方式，但學習成效則以「個人」為最佳，且顯著優於「全班一起授課」、「分小組授課」及「混合」的教學方式。Liao (2007) 的研究發現電腦輔助教學應用於小組教學成效最佳 ($ES = 0.96$)；Chan 與 Leung (2014) 的研究也顯示動態幾何軟體應用於數學教學時，以配對 (pair) 的方式成效最佳 ($ES = 0.92$)，優於個人化教學 ($ES = 0.60$)，可見這些研究的結果與本研究並不一致。然而，Liao (2007) 的研究聚焦在電腦輔助教學且不以數學科為限，而 Chan 與 Leung (2014) 的研究僅限於動態幾何軟體。本研究的範圍包含所有應用於數學的科技，取材上的差異或許是造成研究結果不一致的原因。

9. 在學習輔助設備方面

使用「電腦／筆電」為最大宗，但學習成效則以「即時反饋系統」為最佳，且顯著優於「傳統紙筆」與「混合」。鄭順源 (2012) 探討即時反饋系統應用在國三數學的學習成效，結果顯示接受即時反饋系統教學的實驗組其成效顯著優於傳統講述教學的對照組。洪邦傑 (2016) 的研究也發現即時反饋系統融入四年級數學教學，在學習保留效果方面顯著優於傳統教學，本研究的發現與他們頗為一致。然而，本研究中應用即時反饋系統的文獻僅有 13 篇，在推論上仍須保守看待。

10. 在科技融入時機上

本研究顯示科技融入「正式課程」與「補救教學」的成效顯著優於「混合」。整體而言，科技融入數學教學仍以在「課中」進行最為普及且效果最好。用於「補救教學」雖成效最佳，但因僅有 11 篇文獻，其成效仍有待更多研究驗證。

(二) 建議

基於上述結論，本研究提出以下建議：

1. 全面推動科技融入數學教學，補救教學方面尤須加強

本研究的結果顯示科技融入教學能顯著提升學生數學學習成效達 13 個百分位數，且對國小、國中及高中（職）學生的成效皆顯著優於傳統課堂教學，因此，建議教育部宜挹注經費並要求各級數學教師全面實施科技融入教學。此外，面對因城鄉差距及社經資源分配不均而造成的學習落差，同個班級中學生能力參差不齊已是常態。教育部雖自 1996 年起即大力推動補救教學，但至今成效似仍待加強，尤其是在英、數兩科（楊怡婷，2016）。本研究發現，科技融入數學補救教學的篇數甚少 ($N = 11$)，顯見尚未普及，但成效最佳。因此若能廣注經費，鼓勵教師實施科技融入數學補救教學，當能有效提升學習落後學生之學習動機與成效。

2. 鼓勵發展適用於高中（職）階段數學學習領域之科技融入教學方案

本研究發現在 282 篇研究中樣本為高中（職）者僅有 19 篇，且其成效顯著低於國小學生。當然升學壓力或許是影響篇數的主要原因，但也凸顯出目前應用於高中（職）數學學習領域的科技融

入教學方案偏少的事實。本研究統計，屬於高中（職）的四個學習主題其篇數各為：「函數」4 篇、「有限數學」4 篇、「坐標與向量幾何」9 篇、「線性代數」2 篇。108 課程綱要強調素養導向的學習，並楊槩數學教育「應提供每位學生有感的學習機會，培養學生正確使用工具的素養」（教育部，2018），而不再讓學生困於考試、升學的夢魘中。因此，高中（職）數學教師應發展更多元的教學方案，促進學生有感的學習機會，也提升學生對數學的學習興趣。尤其當科技融入教學已成趨勢，如何發展更豐富的融入科技的數學教學方案，當可作為未來努力的方向。

3. 教學節數以介於 1 至 15 節為原則，且教學方式以個人化為佳

本研究發現科技融入數學科教學的節數對學習成效具關鍵性影響，若高於 15 節，學習成效則明顯下降，因此建議數學教師在實施科技融入教學時，整體時間以低於 15 節為原則。至於這 15 節如何安排，是集中於一週，或是分散於數週，則可參考 Cheung 與 Slavin（2013）的研究結果，以每週 30–75 分鐘成效最佳。其次，本研究也發現「全班一起授課」為最普及的教學方式，但學習成效則以「一人一機」的個人化學習成效最佳。過去可能因為資訊設備不足，以全班一起或分組授課的科技融入方式較為普及，但成效略顯不足。如今科技設備已達可「一人一機」水準，因此建議教師在教學設計上多發展個人化學習情境的教案。

4. 對未來研究的建議

本研究雖有探討不同科技融入方式是否會影響學習的效果，但因 Q_b 未達顯著，因此未做進一步討論。然而科技融入教學，可能會結合其它教學策略，如，合作學習、問題導向學習、專案導學習、自我導向學習等，而非僅是科技的應用。Sung 等人（2016）的後設分析，探討行動學習的學習成效，其中一個調節變項即在分析各種教學策略結合於行動學習的影響。因此，未來相關的研究，無論是個別實徵研究或是後設分析，或可就此部分多加著墨。

本研究顯示，以高中（職）生為樣本的研究，比例明顯偏少，僅佔總篇數之 6.9%，如前所述，這或許與升學壓力有關。然而，高中乃銜接中學與大學的重要階段，也是學生蛻變為成人並決定未來方向的關鍵時期。因此，有必要對此一階段之學生其對科技融入數學教學的看法、學習方式、乃至學習成效，深入了解。建議未來科技融入數學教學的研究可考量多以高中（職）生為研究對象，以補足當前研究文獻之不足。

參考文獻

- 九年一貫數學學習領域綱要修訂小組（2003）：《九年一貫數學學習領域綱要修訂草案（第三版）》。教育部。[https://www.k12ea.gov.tw/files/97_sid17/980424%E6%95%B8%E5%AD%B8%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E4%BF%AE%E8%A8%82\(%E5%96%AE%E5%86%8A\).pdf](https://www.k12ea.gov.tw/files/97_sid17/980424%E6%95%B8%E5%AD%B8%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E4%BF%AE%E8%A8%82(%E5%96%AE%E5%86%8A).pdf) [The Nine-year Consistent Syllabus for Mathematics Learning Area Revision Group. (2003). *Draft of the nine-year consistent syllabus for mathematics learning area* (3rd ed.). Ministry of Education. [https://www.k12ea.gov.tw/files/97_sid17/980424%E6%95%B8%E5%AD%B8%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E4%BF%AE%E8%A8%82\(%E5%96%AE%E5%86%8A\).pdf](https://www.k12ea.gov.tw/files/97_sid17/980424%E6%95%B8%E5%AD%B8%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E4%BF%AE%E8%A8%82(%E5%96%AE%E5%86%8A).pdf)]
- 方瑀紳、李隆盛（2015）：〈臺灣數位學習的成效與研究：2000–2011 年間國內外研究文獻的回顧與綜整〉。《教育資料與圖書館學》，51，27–56。[Fang, Y.-S., & Lee, L.-S. (2015). The effectiveness and studies of e-learning in Taiwan: A review and synthesis of 2000-2011 research literature. *Journal of Educational Media & Library Science*, 51, 27–56.] <https://doi.org/10.6120/>

JoEMLS.2014.51S/0634.RV.CM

- 王全世 (2000) : 〈資訊科技融入教學的意義與內涵〉。《資訊與教育雜誌》, 80, 23–31。[Wang, C.-H. (2000). The meaning and connotation of information technology integrating into instruction. *Information and Education*, 80, 23–31.]
- 王思涵 (2012) : 《數位遊戲式學習對中小學學生學習成效影響之後設分析》(未出版碩士論文), 國立臺灣師範大學。[Wang, S.-H. (2012). *Effects of digital game-based learning on primary and secondary school students' learning achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University.]
- 王珀芬 (2010) : 《資訊科技融入教學對國中小學生學習成效影響之後設分析》(未出版博士論文), 國立臺南大學。[Wang, P.-F. (2010). *A meta-analysis of the learning effects of information technology integrated into instruction on elementary school and junior high school students* (Unpublished doctoral dissertation). National Tainan University.]
- 朱建正 (1997) : 《高斯》。凡異出版社。[Chu, C.-C. (1997). *Gauss*. Fanyi Publisher.]
- 沈慶衍 (2004) : 〈資訊科技融入教學之概念、應用與活動設計〉。《教育資料與圖書館學》, 42 (1), 139–155。[Shen, C.-H. (2004). Integrating information technology into instruction: Concept, application, and activity planning. *Journal of Educational Media & Library Sciences*, 42(1), 139–155.]
- 李漢岳、楊介銘、宋曜廷 (2017) : 〈數位學習實驗研究品質評估與現況分析: 以行動學習為例〉。《教育科學研究期刊》, 62 (2), 31–60。[Lee, H.-Y., Yang, M.-J., & Sung, Y.-T. (2017). Quality assessment and situational analysis of experimental e-learning designs: A case study of mobile learning. *Journal of Research in Education Sciences*, 62(2), 31–60.] [https://doi.org/10.6209/JORIES.2017.62\(2\).02](https://doi.org/10.6209/JORIES.2017.62(2).02)
- 林貞均 (2017) : 《行動科技輔助第二外語字彙學習成效之後設量化分析研究》(未出版碩士論文), 國立清華大學。[Lin, J.-J. (2017). *The effects of mobile-assisted second language vocabulary learning: A meta-analysis of the research* (Unpublished master's thesis). National Tsing Hua University.]
- 洪良興 (2010) : 《以後設分析法探討資訊科技融入體育教學之學習成效》(未出版碩士論文), 國立體育大學。[Hung, L.-H. (2010). *A meta-analysis of information technology into physical education learning outcomes* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Sport University.]
- 洪邦傑 (2016) : 《IRS 即時反饋系統融入四年級數學領域教學之研究 - 以數與量為例》(未出版碩士論文), 明道大學。[Hung, P.-C. (2016). *The study of interactive response system integrating the fourth grade mathematics teaching- an example of concept about number and quantity* (Unpublished master's thesis). MingDao University.]
- 徐千和 (2012) : 《GSP 融入數學教學成效之後設分析》(未出版碩士論文), 中原大學。[Hsu, C.-H. (2012). *The effect of integrating GSP into mathematics teaching: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). Chung Yuan Christian University.]
- 張春興 (2007) : 《教育心理學－三化取向的理論與實踐重修二版》。臺灣東華。[Chang, C.-S. (2007).

- Educational psychology: The theory and practice of the three approaches* (2nd Ed.). Tung Hua.]
- 張國恩（2002）：〈從學習科技的發展看資訊融入教學的內涵〉。《北縣教育》，41，16–25。
- [Chang, K.-E. (2002). From the development of learning technology to perceive the connotation of information technology integrating into instruction. *Taipei County Education*, 41, 16–25.]
- 張惠雯（2003）：《電腦網路學習成效影響之後設分析》（未出版碩士論文），國立新竹教育大學。
- [Chang, H.-W. (2003). *The effects of web-based learning on students' achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Hsinchu University of Education.]
- 教育部（2000）：《國民中小學九年一貫課程暫行綱要》。 <https://cirn.moe.edu.tw/WebContent/index.aspx?sid=9&mid=163> [Ministry of Education. (2000). *The nine-year consistent syllabus temporary version*. <https://cirn.moe.edu.tw/WebContent/index.aspx?sid=9&mid=163>]
- 教育部（2001）：《中小學資訊教育總藍圖》。 [https://ws.moe.edu.tw/001/Upload/userfiles/guideline\(9006\).pdf](https://ws.moe.edu.tw/001/Upload/userfiles/guideline(9006).pdf) [Ministry of Education. (2000). *The blueprint of information education for elementary and secondary education*. [https://ws.moe.edu.tw/001/Upload/userfiles/guideline\(9006\).pdf](https://ws.moe.edu.tw/001/Upload/userfiles/guideline(9006).pdf)]
- 教育部（2018）：《十二年國民基本教育課程綱要》。 <https://12basic.edu.tw/12about-3-1.php> [Ministry of Education. (2018). *12-year education curriculum guide*. <https://12basic.edu.tw/12about-3-1.php>]
- 教育部（2008）：《國民中小學九年一貫課程綱要數學學習領域》。 <https://cirn.moe.edu.tw/Upload/file/742/67260.pdf> [Ministry of Education. (2008). *The nine-year consistent syllabus for mathematics learning area*. <https://cirn.moe.edu.tw/Upload/file/742/67260.pdf>]
- 教育部（2009）：《普通高級中學課程綱要》。 https://www.k12ea.gov.tw/files/common_unit/a7285432-45bf-4371-b514-3eb12aff9871/doc/99%E6%99%AE%E9%80%9A%E9%AB%98%E4%B8%AD%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81.pdf [Ministry of Education. (2009). *Curriculum guidelines for senior high school*. https://www.k12ea.gov.tw/files/common_unit/a7285432-45bf-4371-b514-3eb12aff9871/doc/99%E6%99%AE%E9%80%9A%E9%AB%98%E4%B8%AD%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81.pdf]
- 梁育維（2013）：《教育科技融入教學成效相關博碩士論文之後設分析》（未出版博士論文），國立高雄師範大學。 [Liang, Y.-W. (2013). *The meta-analysis of the doctoral and master thesis related to the effects of integrating educational technology into teaching* (Unpublished doctoral dissertation). National Kaohsiung Normal University.]
- 陳彥君（2010）：《互動式電子白板融入數學領域對國小高年級學生學習動機與成效之研究》。（未出版碩士論文），國立臺南大學。 [Chen, Y.-C. (2010). *A study on learning motivation and effectiveness of integrating interactive whiteboard into elementary school high graders mathematical teaching* (Unpublished master's thesis). National Tainan University.]
- 陳彥君、董修齊（2010）：〈互動式電子白板融入數學領域對國小高年級學生學習動機之影響〉。《工業科技教育學刊》，3，1–7。 [Chen, Y.-C., & Dong, H.-C. (2010). A study on learning motivation of integrating interactive whiteboard into elementary school high graders mathematical teaching. *Journal of Industrial Technology Education*, 3, 1–7.]

- 陳勇宏（2013）：《輔助科技對身心障礙學生影響之後設分析：以單一受試實驗設計為例》（未出版碩士論文），國立東華大學。[Chen, T.-H. (2013). *A meta-analysis on learning effects of using assistive technology for the students with disabilities: Single-subject design as an example* (Unpublished master's thesis). National Dong Hwa University.]
- 陳羿伶（2011）：《互動式電子白板應用於國小教學對學生學習成效影響之後設分析》（未出版碩士論文），國立臺灣師範大學。[Chen, Y.-L. (2011). *Effects of using interactive whiteboard in elementary school instruction on students' academic achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University.]
- 陳郁雯（2003）：《電腦模擬對學生學習成效影響之後設分析》（未出版碩士論文），國立新竹教育大學。[Chen, Y.-W. (2003). *Effects of computer simulation on students' achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Hsinchu University of Education.]
- 黃淑敏（2000）：《電腦網路學習對學生學習成效之後設分析》（未出版碩士論文），國立新竹師範學院。[Huang, S.-M. (2000). *The effects of computer networked learning on students' achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Hsinchu University of Education.]
- 黃聖凱（2011）：《網路部落格對寫作表現的影響之後設分析研究》（未出版碩士論文），國立臺灣師範大學。[Huang, S.-K. (2011). *A meta-analysis of the effects of the web-based blogs in writing performance* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University.]
- 楊宛慈（2011）：《我國網頁主題式探究學習成效之後設分析研究》（未出版碩士論文），國立臺灣師範大學。[Yang, W.-T. (2011). *Effects of webquest on students' achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University.]
- 楊怡婷（2016）：〈補救教學有效嗎？〉。《臺灣教育評論月刊》，5（1），173–177。[Yang, Y.-T. (2016). Is remedial instruction effective? *Taiwan Educational Review Monthly*, 5(1), 173–177.]
- 廖遠光（2012）：〈後設分析及其在數位學習上的應用〉。見宋曜廷（主編），《數位學習研究法》，頁 109–131。高等教育。[Liao, Y.-K. (2012). The application of meta-analysis on e-learning. In Y.-T. Sung (Ed.), *Research methodology for e-Learning* (pp. 109–131). Higher Education.]
- 廖遠光、張澄清（2016）：〈學生擬題教學對情意學習成效及學業成就影響之後設分析〉。《教育科學研究期刊》，61（3），1–42。[Liao, Y.-K., & Chang, C.-C. (2016). Effects of the problem posing strategies of students on affective learning outcomes and academic achievement: A meta-analysis. *Journal of Research in Education Sciences*, 61(3), 1–42.] [https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61\(3\).01](https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61(3).01)
- 蔡昆瀛、戴佑祝、陳佳宜（2010）：〈電腦輔助教學對智能障礙學生學習成效研究文獻之後設分析〉。《國小特殊教育》，49，41–52。[Tsai, K.-Y., Dai, Y.-C., & Chen, J.-Y. (2010). The learning effect of CAI on students with intellectual disability: A meta-analysis. *Special Education for the Elementary School*, 49, 41–52.] <https://doi.org/10.7034/SEES.201006.0041>
- 蔡欣嘉（2006）：《九年一貫課程實施後資訊科技融入教學對國中小學生學習成效影響之後設分析》（未出版碩士論文），國立新竹教育大學。[Tsai, H.-J. (2006). *Effects of integrating information*

- technology into instruction on junior high and elementary school students' learning achievement after the implementation of the 9-year Joint Curriculum: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Hsinchu University of Education.]
- 鄭富美 (2008) : 《虛擬教具教學對學生學習成效之後設分析》 (未出版碩士論文) , 國立交通大學。 [Cheng, F.-M. (2008). *Effects of virtual manipulative instruction on students' academic achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Chiao Tung University.]
- 鄭雅容 (2013) : 《語音輸出溝通輔具對身心障礙學生溝通與問題行為介入成效之後設分析》 (未出版碩士論文) , 國立臺北教育大學。 [Cheng, Y.-J. (2013). *The effect of voice output communication aids on the communication and challenging behaviors of students with disabilities: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Taipei University of Education.]
- 鄭順源 (2012) : 《IRS 即時反饋系統應用在高雄市國三數學課程學習成效之研究》 (未出版碩士論文) , 國立高雄師範大學。 [Cheng, S.-Y. (2012). *The effect of applying IRS on mathematics learning for the 9th grade students in Kaohsiung* (Unpublished master's thesis). National Kaohsiung Normal University.]
- 謝彩鳳 (2010) : 《數位化補救教學對學生學習成效影響之後設分析》 (未出版碩士論文) , 國立臺灣師範大學。 [Hsieh, T.-F. (2010). *Effects of digital-based remedial instruction on students' learning achievement: A meta-analysis* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University.]
- 蘇國章 (2012) : 《資訊科技運用於教學之教學研究趨勢與學習成效後設分析 - 以九年一貫課程實施後學位論文為例》 (未出版博士論文) , 國立臺南大學。 [Su, K.-C. (2012). *A meta-analysis on research trends and learning effects of using information technology: The theses of the year between 2002~2011* (Unpublished master's thesis). National Tainan University.]
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & IJzendoorn, M. H. van. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin*, 133 (1), 1–24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.1.1>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Wiley.
- Burns, P. K. (1981). *A quantitative synthesis of research findings relative to the pedagogical effectiveness of computer-assisted instruction in elementary and secondary schools* [Unpublished doctoral dissertation]. The University of Iowa.
- Chan, K., & Leung, S. (2014). Dynamic geometry software improves mathematical achievement: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Educational computing research*, 51(3), 311–325. <https://doi.org/10.2190/EC.51.3.c>
- Cheung, A. C. K., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 88–113. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.001>
- Christmann, E. P., Lucking, R. A., & Badgett, J. L. (1997). The effectiveness of computer-assisted

- instruction on the academic achievement of secondary students. *Computers in the Schools*, 13(3–4), 31–40. <https://doi.org/10.5958/2231-458X.2017.00012.4>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155–159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
- Demir, S., & Basol, G. (2014). Effectiveness of Computer-Assisted Mathematics Education (CAME) over Academic Achievement: A Meta-Analysis Study. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 14(5), 2026–2035. <https://doi.org/10.12738/estp.2014.5.2311>
- Dias, L. B. (1999). Integrating technology. *Learning & Leading with Technology*, 27(3), 10–13. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.1189&rep=rep1&type=pdf>
- Gall, M. D., Borg, W. R., & Gall, J. P. (1996). *Educational research: An introduction* (6th ed.). Longman.
- Hartley, S. S. (1977). *Meta-analysis of the effects of individually paced instruction in mathematics* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Colorado Boulder.
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic.
- Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *British Medical Journal*, 327(6), 557–560. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0022-z>
- Jonassen, D. H. (2000). *Computers as mindtools for schools*. Prentice Hall.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Li, Q., & Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22, 215–243. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9125-8>
- Liao, Y. C. (2007). Effects of computer assisted instruction on students' achievement in Taiwan: A meta-analysis. *Computers & Education*, 48(2), 216–233. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.12.005>
- Lipsey, M., & Wilson, D. (2001). *Practical meta-analysis*. Sage.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Routledge.
- Muijs, D., & Reynolds, D. (2001). *Effective teaching-evidence and practice*. Paul Chapman.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. NCTM. <http://www.nctm.org>
- Orwin, R. G. (1983). A fail-safe N for effect size in meta-analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 8, 157–159. <https://doi.org/10.3102/10769986008002157>
- Rakes, C. R., Valentine, J. C., McGatha, M. B., & Ronau, R. N. (2010). Methods of instructional improvement in algebra: A systematic review and meta-analysis. *Review of Educational Research*, 80(3), 372–400. <https://doi.org/10.3102/0034654310374880>
- Raudenbush, S. W. (1994). Random effects models. In H. Cooper & L. V. Hedges (Eds.), *The handbook of research synthesis* (pp. 301–321). Russell Sage Foundation.
- Rosenthal, R. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86, 638–641. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.3.638>

- Schmidt, F. L., Oh, I.-S., & Hayes, T. L. (2009). Fixed-versus random-effects models in meta-analysis: Model properties and an empirical comparison of differences in results. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 62, 97–128. <https://doi.org/10.1348/000711007X255327>
- Slavin, R. E., & Lake, C. (2008). Effective programs in elementary mathematics: A best evidence synthesis. *Review of Educational Research*, 78(3), 427–455. <https://doi.org/10.3102/0034654308317473>
- Slavin, R. E., Lake, C., & Groff, C. (2009). Effective programs in middle and high school mathematics: A best evidence synthesis. *Review of Educational Research*, 79(2), 839–911. <https://doi.org/10.3102/0034654308330968>
- Sokolowski, A., Li, Y., & Willson, V. (2015). The effects of using exploratory computerized environments in grades 1 to 8 mathematics: A meta-analysis of research. *International Journal of STEM Education*, 2(8), 2–17. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0022-z>
- Sprague, D., & Dede, C. (1999). If I teach this way, am I doing my job? Constructivism in the classroom. *Learning and Leading with Technology*, 27(1), 6–17.
- Sung, Y.-T., Chang, K. E., & Liu, T. C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 94, 252–275. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.008>
- Tokpah, C. (2008). *The effects of computer algebra systems on students' Achievement in mathematics* [Unpublished doctoral dissertation]. Kent State University.
- Yager, R. E. (1991). The constructivist learning model: Towards real reform in science education. *The Science Teacher*, 58(6), 52–57. <https://www.jstor.org/stable/i24146165>
- Young, J. (2017). Technology-enhanced mathematics instruction: A second-order meta-analysis of 30 years of research. *Educational Research Review*, 22, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.07.001>

收稿日期：2019 年 08 月 26 日
一稿修訂日期：2019 年 08 月 28 日
二稿修訂日期：2019 年 11 月 24 日
三稿修訂日期：2020 年 02 月 23 日
四稿修訂日期：2020 年 06 月 30 日
五稿修訂日期：2020 年 07 月 20 日
接受刊登日期：2020 年 07 月 20 日

Bulletin of Educational Psychology, 2021, 52(4), 781–806
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R. O. C.

Integrating Technology in Mathematics Instruction on Grade School Academic Achievement in Taiwan: A Meta-Analysis

Yuen-Kuang Cliff Liao

Center for Teacher Education
Chinese Culture University

Yung-Hsin Chen

The Center for Economic Forecasting
Chung-Hua Institution for Economic Research

Jonassen (2000) suggested that learning with information technology (IT) involves three stages: learning from computers, learning about computers, and learning with computers. The development of learning with IT in Taiwan, beginning with computer-assisted instruction, loosely follows these three stages (Chang, 2002). Integrating IT into instruction is the first stage of learning with computers. Previous meta-analyses (Cheung & Slavin, 2013; Demir & Basol, 2014; Hartley, 1977; Li & Ma, 2011; Slavin et al., 2008, 2009; Slavin & Lake, 2008; Rakes et al., 2010; Sokolowski et al., 2015; Young, 2017) regarding the effectiveness of integrating IT into mathematics instruction (ITMI) have reported positive effects compared with non-ITMI classes; effect sizes (ESs) were 0.07–0.9. These meta-analyses also concluded that variables such as publication year, publication type, learning stage, research design, intervention duration, technology type, assessment tool, instructional approach, and mathematics topic might influence the overall ES. A total of 19 meta-analyses investigating the effects of integrating IT into student learning in Taiwan have been performed; however, none of these studies were specifically focused on mathematics.

In this study, we performed a meta-analysis to synthesize existing research regarding the effects of integrating IT with mathematics instruction on the academic achievement of elementary and secondary school students in Taiwan. We searched the National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan, Airiti Library, Index to Taiwan Periodical Literature System, Scopus, EBSCOhost, ProQuest, ScienceDirect, and Web of Science databases for relevant studies by using keywords “math,” “technology,” “computer,” and “achievement” and gathered 282 studies (with 20,190 participants). We then transformed the quantitative data into ESs. After the calculation of the ES for each study, six studies with unusually large ESs were excluded in further analyses (Lipsey & Wilson, 2001). Thus, the total number of studies was 276.

We used the meta-analytic approach suggested by Borenstein et al. (2009), Hedge and Olkin (1985), and Lipsey and Wilson (2001). The ES was defined as the mean difference between the treatment and control groups divided by the pooled standard deviations. The criteria for inclusion of studies were as follows: (1) Studies must compare the effects of ITMI and traditional instruction (TI) on student academic achievement in mathematics; (2) participants must be elementary or secondary school students; (3) the research design must include treatment and control groups, and the treatment group must receive treatment that involved integrating IT into instruction; (4) studies must provide adequate quantitative data for both treatment and control groups so that the ES could be estimated; (5) the number of participants for both ITMI and TI groups must be over 15; studies were excluded if the overall participants were less than 30; (6) the study participants must be Taiwanese students; (7) studies must be published between 1993 and 2019.

On the basis of previous meta-analyses, the moderating effects of 13 variables were investigated. These variables were classified into three categories: (1) research characteristics, including learning stage, topic in mathematics, type of publication,

and year of publication; (2) research methods, including study design, instructor bias, reliability of assessment tools, number of treatment class sessions, and sample size; and (3) research design, including the instructional approach for the treatment group, learning device for the student, method of integration, and timing of integration. Hedges' g was applied for ES calculation. If studies provided only an F -ratio value or a t value, equivalent formulae were used. In addition, the homogeneity test presented by Borenstein et al. (2009) was used to aggregate and analyze the ESs for all 276 studies. The significance of the mean ES was evaluated by its 95% confidence interval (95% CI). A significantly positive (+) mean ES indicated that the results favored the ITMI group, whereas a significantly negative (−) ES indicated that the results favored the TI group. The results of this meta-analysis revealed that the overall mean ESs were 0.32 (95% CI = 0.30-0.35, $z = 24.31$, $p < .0001$) and 0.35 (95% CI = 0.31-0.39, $z = 17.54$, $p < .0001$) for the fixed-effects model and random-effects model, respectively. An effect is said to be small when $ES < 0.2$, medium when $ES \approx 0.5$, and large when $ES > 0.8$ (Cohen, 1992). The results indicated that integrating technology into mathematics instruction had a significant small to medium positive effect compared with TI on the academic achievement of Taiwanese students. Moreover, the homogeneity test was significant ($Q_T = 582.37$, $p < .0001$), indicating that the findings did not share a common ES. A series of moderator analyses were then performed. The analysis results revealed that 10 of the 13 moderating variables selected in this study had statistically significant effects on the overall mean ES. The findings were as follows: (1) The mean ES was higher for elementary school students than high school students. (2) Elementary school students had a higher mean ES for the topics "Number and Quantity" and "Geometry" than did junior high students, but junior high students had a greater mean ES for "Algebra" than did elementary school students. (3) Journal articles had higher mean ES than did unpublished papers. (4) Studies published in 2004–2009 had higher mean ES than did those published in 2010–2014. (5) Studies that applied a pretest–posttest control group design had higher mean ES than did those that applied a quasiexperimental design. (6) Studies with small sample sizes had a higher mean ES than did those with large sample sizes. (7) Studies with less than 15 overall class sessions had a higher mean ES than did those with more than 15 class sessions. (8) Individual learning had a higher mean ES than did whole-class or small group learning. (9) Studies using immediate response system learning devices had a higher mean ES than did those using traditional paper and pencil or mixed devices. (10) Integrating technology in class had a higher ES compared with integrating technology before class or after class. In this meta-analysis, Funnel plot, Rosenthal's (1979) fail-safe N s and Orwin's (1983) fail-safe N s were applied to examine publication bias. The Funnel plot indicated that the studies were distributed symmetrically. Rosenthal's and Orwin's fail-safe N s were 5580 and 8653, respectively—higher than the critical value of $5K+10$. The results of all three methods suggest that there was no publication bias. On the basis of these findings, the implications of this meta-analysis are outlined as followings: (1) Education planners in Taiwan should provide adequate funding supporting ITMI and should encourage elementary and secondary school mathematics teachers to implement ITMI in their classes, particularly for students who require remedial instruction; (2) education planners in Taiwan should encourage mathematics educators to develop instructional programs, teaching methods, and learning materials for ITMI classes; (3) fewer than 15 ITMI class sessions have the strongest effects; and (4) future meta-analyses should examine the effects of varied instructional approaches (e.g., collaborative learning, problem-based learning, project-based learning, and self-regulated learning) alongside ITMI. Finally, this study is the first meta-analysis to focus on the effects of technology integration into mathematics instruction on the academic achievement of Taiwanese students. By examining empirical research on this topic, this meta-analysis provides research-based evidence of the positive outcomes of using technology in mathematics classes as well as how those effects are influenced by moderating variables. The findings provide education policymakers and mathematics teachers with valuable insights into methods of improving mathematics achievement.

Keywords: meta-analysis, integrating technology, Taiwan students, mathematics, academic achievement

