

結合擴增實境與虛擬實境遺傳學學習系統對國中學生在遺傳學概念理解、學習投入程度及探究能力的影響

李易儒¹ 唐文華² 邱文彬¹ 王姿陵^{1,*}

¹國立清華大學 數理教育研究所

²國立清華大學 學習科學與科技研究所

摘要

擴增實境(AR)和虛擬實境(VR)具有獨特功能，可以影響學生從中互動和學習的方式。本研究目的在探討結合AR和VR的遺傳學學習系統對國中學生科學概念理解、學習投入程度及探究能力的影響。此遺傳學學習系統是根據學生在遺傳學相關的另有概念和困難概念並搭配AR與VR的獨特優勢開發而成，內容包含「孟德爾的遺傳實驗」、「基因與遺傳」和「人類性狀的遺傳」三個主題。本研究採準實驗前後測設計，研究對象來自臺中市一所國中四個班級及新竹縣一所國中兩個班級，其中三個班級79人為實驗組，進行遺傳學學習系統教學，另外三個班級78人為對照組，進行一般教學，二組的教學時間皆為四節課，每節課45分鐘，共180分鐘，實驗教學歷經二週。研究結果顯示遺傳學學習系統教學比一般教學更能促進國中學生在遺傳學整個單元的概念理解及個別概念的理解，例如：基因有顯性與隱性之分、棋盤方格與機率、血型的遺傳及隱性性狀的遺傳。研究結果也顯示遺傳學學習系統教學對學生學習投入顯著優於一般教學。另外，研究結果顯示遺傳學學習系統教學對學生特定的探究能力項目，例如：觀察、討論與傳達顯著優於一般教學。本研究的啟示為不同特性的概念搭配適合的AR與VR獨特功能可擴大學習成效，有助學生的科學學習。

關鍵詞：探究能力、虛擬實境、概念理解、學習投入程度、擴增實境

壹、緒論

遺傳學是生物領域相當重要的單元(黃台珠, 1993), Collins與Stewart (1989)認為孟德爾遺傳法則相當重要，因為它可以讓學生瞭解並且預測自己本身以及其他生物體的基因變異狀況。然而遺傳學卻是學生感到困難的

單元，學生常會產生許多另有概念，例如學生無法瞭解顯性與隱性的意義，認為隱性基因控制性狀表現的能力比顯性基因弱，也無法清楚瞭解同源染色體上等位基因的意義，而且認為子女會得到遺傳疾病，一定是爸爸或媽媽其中一人有遺傳疾病(楊坤原、張賴妙理, 2004a)。遺傳學之所以較難理解的原

*通訊作者：王姿陵, tzuling.wang906@gmail.com；ORCID：0000-0001-8836-5028

投稿：2022/12/15，修訂：2023/3/24，接受：2023/4/6，線上出版：2023/8/8

因，主要是因為它要求一些數學計算的能力(Radford & Bird-Stewart, 1982)，同時遺傳學的專有名詞較多，所涉及的概念包含微觀、巨觀、抽象以及符號等多層次表徵；而且有些遺傳學術語較難理解，學生學習時產生語言上的困難(Chu, 2008)。傳統的教學方法對學生另有概念的改變不易，因此陸續有許多學者提出概念改變的教學策略，其中虛擬實驗被認為是有效的教學策略之一(Dalgarno & Lee, 2010)。虛擬實驗包含虛擬實境(Virtual Reality, VR)與擴增實境(Augmented Reality, AR)的技術。

VR是一個利用電腦模擬出三度空間能即時變化的一個動態環境。這樣的環境能夠讓使用者利用感官，再藉著特別的介面設備去與整個環境中的虛擬物件產生互動，讓使用者自行進行探索體驗，產生有如身歷其境的臨場感(歐陽明，1996；賴崇閔等，2009)。VR具有許多優勢，例如：VR具有高度的互動性與擬真性，提升學生的學習動力與參與度，讓學生有更深入的學習經驗(Dalgarno & Lee, 2010)。虛擬實驗可以讓學生重複練習實驗操作，不受時間、空間限制，縮短實驗時間、節省實驗設備成本，降低實驗操作的錯誤(Kang et al., 2013)。3D虛擬物件可以讓抽象概念具體化，虛擬模型也可以任意翻轉視野角度，提升學生空間推理的能力(Stull & Hegarty, 2016)。已有許多研究在探討應用VR在不同科學主題教學對學生科學學習的影響，例如：眼睛結構和功能、遺傳學、植物細胞、電磁學、生物細胞和針孔成像。過去這些應用VR在科學教學的研究，部分研究聚焦在探討VR對學生在科學概念學習的影響，其中多數研究結果顯示學生使用VR能提升學習成就(Anderson & Barnett, 2013; Parong & Mayer, 2018; Shim et al., 2003; Wu et al.,

2021)，也有少數研究結果顯示學生使用VR無法提升概念理解(Annetta et al., 2009)。值得一提的是，Dede等(1996)的研究結果顯示VR對學生在不同科學主題的學習成效不同，例如：VR可以提升學生在靜電學和高斯定理的概念理解，但無法提升學生在牛頓力學和運動的概念理解。另有部分研究聚焦在探討VR對學生在學習感受的影響，其中多數研究結果顯示學生使用VR能提升學習投入(Allcoat & von Mühlenen, 2018; Annetta et al.; Parong & Mayer)。還有少數研究聚焦在探討VR對學生解決問題能力的影響，研究結果顯示學生使用VR能提升解決問題能力(Wu et al.)。

AR是一種VR的延伸，把虛擬的物件或景物與現實生活的場景結合在一起，使用者能夠透過行動載具與真實環境互動，是一種與真實環境結合且即時性互動的技術(Azuma, 1997)。AR具有許多優勢，例如：AR可將虛擬物件與真實環境結合，讓使用者有親臨現場的學習(Billinghurst et al., 2005)；可將行動載具與真實環境互動，創造一個擬真的學習環境，讓使用者如在真實環境實際操作且立即回饋(Dunleavy et al., 2009)。AR透過與真實環境的高度互動，為學習者提供了主動探索知識的機會，而不是被動接受知識；抽象概念也可以通過AR操作呈現，學生不需要通過想像去猜測結果，有利於概念的建構；AR可以為學生提供沉浸式學習體驗，更便捷的操作環境，不受空間或時間的限制，增強學生的學習動力(Tarng et al., 2022)。已有許多研究在探討應用AR在不同科學主題對學生科學學習的影響，例如：校園生態池、水生動植物、天文學、生物學、太陽系和花的結構。過去AR應用在科學教學研究中，有些在探討AR對學生科學概念學習的影響，多數研究結果顯示AR能提升學習成就(Chen et al.,

2022; Chiang et al., 2014; Lin et al., 2022)和概念理解(Sirakaya & Cakmak, 2018)，也有少數研究結果顯示AR無法提升學習成就(Erbas & Demirel, 2019)。另有部分研究探討AR對學生學習感受的影響，其中少數研究結果顯示AR不能提升學習投入(Sirakaya & Cakmak)。

張鈿富等(2012)認為學習投入程度會影響學生學業成就，學生學習投入的程度愈高，學業成就表現愈佳，學習投入程度對學生的學習是至關重要的。已有研究顯示學生學習投入的程度會影響學生知識發展和認知發展(Kuh et al., 2010)。教育部於2018年《十二年國民基本教育課程綱要》自然科學領域的「基本理念」提到：在科學學習的方法，應當從激發學生對科學的好奇心與主動學習的意願為起點，引導其從既有經驗出發，進行主動探索、實驗操作與多元學習，使學生能具備科學核心知識、探究實作與科學論證溝通能力(教育部，2018)，探究能力是現行課綱中學生學習表現的重要項目。

過去研究發現VR和AR在不同科學主題教學對學生的學習成效並不一致，這些不一致的研究結果可能和科學主題、研究方法以及在每個研究提供的VR和AR優勢不同有關。近來已有研究探討結合VR和AR技術應在醫學訓練和古代儀器裝置教學的影響，研究結果顯示結合VR和AR技術應用在教學，能提升培訓的效率(謝旻儕、林語瑄，2017)，也能降低教學成本(Rojas-Sola & Aguilera-García, 2018)，然而，截至目前少有研究結合VR和AR技術應用在科學教學。考量當前沒有結合VR和AR技術的系統發展架構可供依循，又考量VR和AR學習系統對學生的學習成效不一致可能是不同科學主題具有不同學習內容特性及VR和AR所能提供的獨特優勢不同所造成，本研究嘗試根據教材內容的特性選

擇搭配適合的VR和AR優勢，建置有利的學習環境，以優化學生的學習效果。VR與AR的優勢各自有其相似之處及互補的特性，本研究系統設計根據遺傳學不同主題的教材特性，VR與AR也會提供不同的優勢，例如：利用AR，在現實世界的基礎上疊加虛擬的資訊或內容，讓學生在真實環境中進行遺傳實驗，學生可透過掃描豌豆花盆、剪刀、毛筆等圖卡，並透過不同角度觀察豌豆性狀及實際操作遺傳實驗，可增加與真實環境的互動性。為增加使用者的沉浸感，利用VR呈現開花至結果的動態連續過程，學生可操作播種實驗並觀看豌豆成長結果，同時觀察子代顯性與隱性的性狀表現與比例。學生利用AR掃描各種不同的親代基因組合圖卡，立即觀看子代遺傳性狀表現型及基因型，還可以多次練習且立即得到回饋以促進概念理解。

因此，本研究的目的在探討結合VR和AR的遺傳學學習系統對國中生在遺傳學概念理解、學習投入程度及探究能力的影響。本研究的研究問題如下：

- 一、遺傳學學習系統教學和一般教學對學生概念理解的影響是否有差異？
- 二、遺傳學學習系統教學和一般教學對學生學習投入程度的影響是否有差異？
- 三、遺傳學學習系統教學和一般教學對學生探究能力的影響是否有差異？

貳、文獻探討

一、遺傳學另有概念的相關研究

黃台珠(1993)以高中及國中一年級學生為研究對象，使用學生學習孟德爾遺傳法則所需的概念及法則來製作紙筆測驗以及面談工具，用以探討學生遺傳學習的現況及面臨的

問題，研究結果顯示學生在「減數分裂時染色體的移動」、「配子形成時等位基因與染色體移動的關係」以及「孟德爾遺傳法則計算問題」容易出現另有概念。楊坤原與張賴妙理(2004a)以二階段式診斷測驗調查1,606名國中一年級學生在學過「生殖」與「遺傳」單元後所存在的另有概念，研究結果顯示國中一年級學生在教學後仍然對於基因與性狀、染色體與DNA的關係及孟德爾遺傳法則存有另有概念，例如不清楚染色體的結構與DNA的關係及基因的位置；對於顯性基因與隱性基因的組合與性狀表現觀念仍不清楚；無法清楚瞭解減數分裂時染色體分離的概念，甚至有四成以上的學生無法瞭解隱性基因的存在與對後代的影響。楊坤原與張賴妙理(2004b)以文獻回顧，分析自1970年至2000年共48篇遺傳學另有概念相關文獻。研究結果顯示許多學生對基因、染色體、孟德爾遺傳法則、性狀的遺傳概念仍不清楚，甚至將近四成的學生無法用正確的英文字母來代表顯性與隱性基因。Knippels等(2005)晤談學生以瞭解學生關於遺傳概念的理解情形，研究結果顯示學生可以區分有絲分裂與減數分裂間的不同，但是無法清楚描述減數分裂產生配子的過程中染色體與遺傳性狀的關聯。

二、VR

(一)VR的意義

歐陽明(1996)認為VR的基本原理是利用電腦來產生並控制一個虛擬的世界，當使用者與虛擬的世界互動時，就如同身處在真實的環境中，無論是視、聽、觸覺都如同真實情境一般。賴崇閔等(2009)認為VR是一種人機介面技術，VR利用即時性的3D電腦繪圖，呈現動態、即時性與互動的逼真場景，使用者可透過立體眼鏡、立體手套等感應裝置，與虛擬環境中的虛構物件進行互動。

(二)VR的特性

Burdea與Coiffet (2003)認為VR是一種電腦和周邊設備結合形成的3D圖形系統，具有「沉浸-互動-想像」(Immersion-Interaction-Imagination, 3I)的特性，可讓使用者沉浸在互動式的虛擬環境。3I是指：1.互動性：使用者藉著感官系統感受物件，透過周邊設備的感測器，立即偵測與回應使用者所輸入的訊息，改變虛擬中的活動，達到人機介面的互動。2.想像力：虛擬場景的設計能提供使用者想像的空間，以創造生動活潑的題材，以增進使用者的學習興趣或使用意願。3.沉浸性：使用者能完全融入利用電腦軟硬體技術所產生讓使用者信以為真的3D VR。

(三)VR的優勢

Dalgarno與Lee (2010)認為VR具有高度的互動性與擬真性，提升學生的學習動力與參與度，讓學生有更深入的學習經驗。Kang等(2013)指出，虛擬實驗可以讓學生重複練習實驗操作，不受時間、空間限制，縮短實驗時間、節省實驗設備成本，降低實驗操作的錯誤。Stull與Hegarty (2016)指出3D虛擬物件可以讓抽象概念具體化，虛擬模型也可以任意的翻轉視野角度，提升學生空間推理的能力。

(四)VR的種類

VR可分為桌上型、沉浸型、模擬器式及投影式VR (林志勇等, 2006; Clancy et al., 2006)：1.桌上型VR主要使用一般的多媒體電腦或平板，結合VR軟體，並可搭配鍵盤、滑鼠等設備即可操作，是全部類型中最經濟的VR。2.沉浸型VR藉由頭盔顯示器、資料手套將使用者的肢體動作訊息傳回電腦，具有高度的沉浸程度與真實感，令使用者全面沉浸在擬真的虛擬環境，產生身歷其境的真實感，而這些周邊設備大多屬於較昂貴的裝

置。3.模擬器式VR必須要能真實模擬實際環境，並運用科技製造出汽車、飛機或其他各類駕駛座的「模擬器」，此類型大多應用在軍事、飛行訓練或具有危險性的訓練上，主要是為了降低昂貴的訓練成本。4.投影式VR是利用投影機將虛擬影像投射至3D螢幕上，使用者透過3D立體眼鏡或偏光眼鏡體驗VR，效果就像3D立體電影。

三、AR

(一)AR的意義

Milgram等(1995)提出真實環境(real environment)與虛擬環境(virtual environment)的連續理論(reality-virtuality continuum)，如圖1。他們將真實環境與虛擬環境放在連續系統的兩端，在連續線性的最左方代表的是真實環境，最右方為虛擬環境，介於兩端之間範圍為混合實境(mixed reality)。比較接近「真實環境」端者為AR；比較接近「虛擬環境」端者為AV。這個連續性的概念可以成為人對於感官與肢體的延伸，強化對於真實世界的感受。

Azuma (1997)提出關於AR的另一種定義，認為AR事實上就是一種VR的形式，VR可讓使用者融入電腦合成的虛擬環境中，但無法看到周遭的現實環境。但是AR可以讓現實環境中的虛擬物件以疊加或合成的方式融合至現實的環境中。AR包含1.同時結合虛擬和現實物件；2.即時的互動；3.虛擬與現實的結合是3D空間性的。即AR為VR的延伸，AR

是將虛擬的物件結合真實環境，經由電腦產生的影像、物件、資訊或場景融入真實世界的環境中並能進行互動，可提升感知效果。

(二)AR的特性

Azuma (1997)認為AR須具備三項特性：

1.結合真實與虛擬環境；2.提供即時性的互動；3.需置於3D的環境中。Azuma等(2001)再定義AR必須具備的特性包含以下三點：1.在真實的環境中同時結合真實與虛擬的物件；在同一情境中現實與虛擬的結合；2.提供即時性和互動性：真實場景中即時呈現虛擬物件，使用者可在現實與虛擬結合的3D空間中，產生互動的行為；3.真實與虛擬物件需相互交疊、緊密結合。

(三)AR的優勢

Billinghurst等(2005)指出，AR可將虛擬物件與真實環境結合，讓使用者有親臨現場的學習。Dunleavy等(2009)指出AR可將行動載具與真實環境互動，創造一個擬真的學習環境，讓使用者實際操作且立即回饋。Tarng等(2022)指出AR透過與真實環境的高度互動，為學習者提供了主動探索知識的機會，而不是被動接受知識；抽象概念也可以通過AR操作呈現，學生不需要通過想像去猜測結果，有利於概念的建構；AR可以為學生提供沉浸式學習體驗，更便捷的操作環境，不受空間或時間的限制，增強學生的學習動力。



圖1：Reality-Virtuality Continuum理論

(四)AR的基本技術與標記方式

AR包含三項基本技術：圖像辨識、互動控制與電腦圖學。圖像辨識系統是經由攝影機的影像資訊跟預設的辨識圖片進行比對，再透過人工智慧計算，比對出畫面中符合預先設定的辨識圖像，由此定位出三維軸向(薛凱文，2010)。Cawood與Fiala (2008)指出，AR的技術以影像辨識技術為主，又分為有標記式AR與無標記式AR，標記式AR必須透過特定的標記或是圖案提供系統辨識，並將模型定位在該標記的相對位置，此標記稱為「圖樣」或是「AR標記」。無標記式AR則不須透過特定標記即可達到辨識的效果，使用者可以自行選定辨識圖片進行虛擬物件的相對位置計算並產生擴增效果。

四、VR與AR的實證研究

(一)VR應用在科學教學的實證研究

Dede等(1996)以高中生為研究對象，使用牛頓力學與運動學、靜電學與高斯定理、各種分子結構為教學主題，建置一個名為科學空間沉浸式、多重感官體驗的VR軟體。利用問卷、成就測驗、實驗記錄與訪談收集資料。研究結果顯示學生認為VR對使用者具有吸引力，但是VR對學生在各科學主題的學習成效不一致，例如：VR可以提升學生在靜電學與高斯定理的概念理解，但無法提升學生在牛頓力學與運動學的概念理解。Shim等(2003)以27位八年級國中學生為研究對象，使用眼睛的結構和功能為教學主題，探討VR生物模擬系統(Virtual Reality Biology Simulations, VRBS)對學生學習成就的影響。研究採用的VRBS，是透過桌上型VR系統來模擬虹膜和瞳孔等眼睛的結構，學生可以通過眼睛的虹膜和瞳孔看花的各種形狀。實驗組使用VRBS學習，對照組接受相同主題

的2D媒體教材教學。研究結果顯示VR顯著提升學生學習成就。Annetta等(2009)以129位高中生為研究對象，使用遺傳學為教學主題，發展一套VR遊戲式教育軟體(Multiplayer Educational Gaming Application, MEGA)，探討MEGA對學生在學習投入程度和概念理解的影響。實驗組進行MEGA軟體教學，對照組進行一般教學。研究結果顯示VR遊戲式教育軟體雖能顯著提升學生課堂學習投入的程度和興趣，但是未能顯著提升學生的概念理解。Anderson與Barnett (2013)以90名中學生為研究對象，使用電磁學為教學主題，發展*Supercharged!* VR遊戲式教學軟體，探討*Supercharged!* VR對學生在學習成就的影響。實驗組進行*Supercharged!* VR遊戲式教學，對照組進行引導式探究傳統教學。研究結果顯示學生使用*Supercharged!*遊戲式教學在學習成就顯著優於學生使用引導式探究傳統教學。Allcoat與von Mühlenen (2018)以大學一年級學生為研究對象，使用植物細胞為教學主題，以螢幕呈現虛擬環境搭配手持式控制器進行VR教學，探討應用VR教學對學生的學習表現、情緒和學習投入的影響。學生分配至傳統教科書教學組、VR教學組和影片教學組。研究結果顯示學生使用VR教學在記憶性知識、情緒和學習投入顯著優於傳統教科書教學組和影片教學組，但是在理解性知識和其他二組沒有顯著差異。Parong與Mayer (2018)以55名大學生為研究對象，使用生物細胞為教學主題，發展身體VR遊戲式教育軟體，探討身體VR對學生在學習成果和學習感受的影響。實驗組進行身體VR遊戲式教學，對照組進行PowerPoint簡報傳統教學。研究結果顯示學生使用身體VR教學在事實性知識顯著低於傳統教學，但在概念性知識顯著高於傳統教學；在學習動機、興趣和學習投入的學習感受顯著比傳統教學更正向，也就是學

生使用VR學習在課堂顯著更快樂、更興奮、更不會無聊。Wu等(2021)以54名國小五年級的學生為研究對象，使用針孔成像為教學主題，探討VR軟體融入小學生的科學探究教學中對學生學習成就和解決問題能力的影響，並進一步探討VR教學對不同學習態度學生的影響。實驗組在科學探究活動中使用可任意變換角度操作與觀察的3D虛擬軟體，對照組在科學探究活動中使用教學影片。研究結果顯示使用VR軟體教學可以提升學生學習成就和解決問題能力，且具有較差學習態度的學生比具有較正向學習態度的學生更能從科學探究活動獲益。

綜觀上述，過去已有許多研究在探討應用VR在不同的科學主題教學對學生科學學習的影響，科學主題包含眼睛結構和功能、遺傳學、植物細胞、電磁學、生物細胞和針孔成像。過去這些應用VR在科學教學的研究，部分研究聚焦在探討VR對學生在科學概念學習的影響，其中多數研究結果顯示學生使用VR能提升學習成就(Anderson & Barnett, 2013; Parong & Mayer, 2018; Shim et al., 2003; Wu et al., 2021)、記憶性知識(Allcoat & von Mühlenen, 2018)和概念性知識(Parong & Mayer)，也有少數研究結果顯示學生使用VR無法提升概念理解(Annetta et al., 2009)、事實性知識(Parong & Mayer)和理解性知識(Allcoat & von Mühlenen)。值得一提的是，Dede等(1996)的研究結果顯示AR對學生在不同科學主題的學習成效不同，例如：VR可以提升學生在靜電學和高斯定理的概念理解，但無法提升學生在牛頓力學和運動的概念理解。另有部分研究聚焦在探討VR對學生在學習感受的影響，研究結果顯示學生使用VR能提升學習投入(Allcoat & von Mühlenen; Annetta et al.; Parong & Mayer)、情緒(Allcoat & von Mühlenen)、學習動機和興趣(Parong &

Mayer)。還有少數研究聚焦在探討VR對學生解決問題能力的影響，研究結果顯示學生使用VR能提升解決問題能力(Wu et al.)。

(二)AR應用在科學教學的實證研究

Chiang等(2014)以57名國小四年級學生為研究對象，使用水生動植物為教學主題，發展一套AR學習系統，探討AR教學對學生學習成就和學習動機的影響。實驗組進行AR行動導向式學習，對照組進行探究行動導向式學習。研究結果顯示學生使用AR行動導向式學習在學生學習成就和學習動機顯著優於探究行動導向式學習。Tarng等(2014)以51名國小四年級學生為研究對象，使用校園生態池為教學主題，以AR技術發展一套AR校園生態池學習系統，探討AR教學對學生的學習成就、學習興趣和學習動機的影響。實驗組進行行動載具AR學習系統教學，對照組進行傳統教學，研究結果顯示學生使用AR教學在學習成就、學習興趣和學習動機顯著優於傳統教學。Sirakaya與Cakmak (2018)以118名七年級學生為研究對象，使用天文學為教學主題，發展一套AR學習系統，探討AR教學對學生學習成就、概念理解和學習投入的影響。實驗組進行AR學習系統教學，對照組進行傳統教學。研究結果顯示學生使用AR教學在學習成就和概念理解顯著優於傳統教學，但在學習投入和傳統教學沒有顯著差異。Erbas與Demirer (2019)以40名九年級學生為研究對象，使用生物學為主題，發展AR生物活動，探討使用AR活動對學生在學習成就與學習動機的影響。實驗組進行AR教學，對照組進行傳統教學。研究結果顯示學生使用AR教學在學習動機顯著優於傳統教學，但在學習成就和傳統教學沒有顯著差異。Sahin與Yilmaz (2020)以100名七年級學生為研究對象，使用太陽系為主題，發展一套AR學習系

統，探討AR教學對學生學習成就和學習態度的影響。實驗組進行AR教學，對照組進行傳統教學。研究結果顯示學生使用AR教學在學習成就和學習態度都顯著優於傳統教學。Chen等(2022)以80名五、六年級學生為研究對象，使用天文學為教學主題，發展一套宇宙星球AR學習系統，探討AR教學對學生在學習成就、學習動機和心流體驗的影響。實驗組進行AR學習系統教學，對照組進行傳統教學。研究結果顯示學生使用AR教學在學習成就、學習動機和心流體驗優於傳統教學。Lin等(2022)以國小六年級學生為研究對象，使用花的結構為教學主題，發展一套科學探究導向的AR學習系統，探討AR教學對學生在學習成就、認知負荷和高階思考技能包含複雜問題解決傾向、後設認知覺察和創造力傾向的影響。實驗組進行科學探究導向的AR教學，對照組進行傳統探究教學。研究結果顯示學生使用科學探究導向AR教學在學習成就和高階思考技能顯著優於傳統探究教學，且在認知負荷顯著低於傳統探究教學。

綜觀上述，過去已有許多研究在探討應用AR在不同科學主題教學對學生科學學習的影響，科學主題包含校園生態池、水生動植物、天文學、生物學、太陽系和花的結構。過去這些應用AR在科學教學的研究，部分研究聚焦在探討AR對學生科學概念學習的影響，其中多數研究結果顯示學生使用AR能提升學習成就(Chen et al., 2022; Chiang et al., 2014; Lin et al., 2022; Sahin & Yilmaz, 2020; Sirakaya & Cakmak, 2018; Tarnng et al., 2014)和概念理解(Sirakaya & Cakmak)，也有少數研究結果顯示學生使用AR無法提升學習成就(Erbas & Demire, 2019)。另有部分研究聚焦在探討AR對學生在學習感受的影

響，其中多數研究結果顯示學生使用AR能提升學習動機(Chen et al.; Chiang et al.; Erbas & Demire; Tarnng et al.)，而少數研究結果顯示能提升學習興趣(Tarnng et al.)、學習態度(Sahin & Yilmaz)和心流體驗(Chen et al.)，也能降低認知負荷(Lin et al.)，但有少數研究結果顯示學生使用AR不能提升學習投入(Sirakaya & Cakmak)。還有少數研究聚焦在探討AR對學生高階思考技能的影響，研究結果顯示學生使用AR能提升高階思考技能(Lin et al.)。

(三)結合VR與AR應用在科學教學的實證研究

謝旻儕與林語瑄(2017)指出將VR和AR技術導入醫療教學，可建構符合人類視覺的虛擬物件，AR提供這些虛擬物件在真實環境中互動，改善傳統醫療護理的不便性，讓醫療人員有身臨其境反覆練習熟悉醫療的訓練，減少臨床上醫療疏失，降低醫療人員養成的教學成本，有效提升醫療人員的訓練成效與照護品質，改善醫病關係，並增加臨床上執行的效率。Rojas-Sola與Aguilera-García(2018)以大學生為研究對象，使用「製造切割水生植物的儀器」為教學主題，利用VR技術模擬學生的儀器在水中的情形，並利用AR技術將學生製作好的儀器投影在桌面，收集學生問卷調查，研究結果顯示結合VR和AR技術，學生可不需要花費昂貴的投資；也可以讓使用者迅速、以直觀的方式配置應用程序；呈現友善環境，達到清晰易懂的互動。

綜上所述，雖然已有研究嘗試結合VR與AR技術應用在教學，但多著重在醫學訓練(謝旻儕、林語瑄，2017)與古代儀器裝置教學(Rojas-Sola & Aguilera-García, 2018)，少有研究探討結合VR與AR技術在科學教育上的應用。

參、研究方法

一、研究對象

本研究對象來自兩所學校，其中一所學校為臺中市一所國中七年級四個班，隨意分配兩班為實驗組54人，另兩班為對照組51人；另一所學校為新竹縣一所國中七年級兩個班，隨意分配一班為實驗組25人，另一班為對照組27人，總共157人。學生有關遺傳學的先備知識在國小階段已知生物從出生、成長到死亡有一定的壽命，透過生殖繁衍下一代，並且知道生物個體間的性狀具有差異性，子代與親代的性狀具有相似性和相異性。在國中階段學生在第一章已學過細胞分裂與減數分裂，具備染色體與基因基本概念，學生在上課前已透過影片預習並完成筆記，對遺傳學已有初步的認識和瞭解。本研究有兩位教學者，其中一位生物教師教學年資21年，另一名生物教師教學年資19年，兩位教師都教學經驗豐富且熟悉課程內容，平日教學都善用新興科技輔助教學，多次參與科技融入教學工作坊，對於虛擬實驗融入教學相當熟悉。二位教師在實驗教學前經過共同備課、共同撰寫教案、一起練習使用遺傳學學習系統、反省討論，直到二位老師熟悉使用遺傳學學習系統。

二、教學內容

本研究的教材內容以國中康軒版自然科學第二冊「遺傳」為教學單元，包含三個教學主題，主題一「孟德爾遺傳實驗」教學目標為理解性狀與遺傳的意義及關係；透過孟德爾遺傳實驗瞭解遺傳學的基本原則及學會棋盤方格法的意義。主題二「基因與遺傳」

教學目標為瞭解基因、DNA、染色體及等位基因的意義及關係；瞭解控制生物遺傳性狀的遺傳因子有顯性和隱性之分，知道遺傳因子的組合和性狀表現的相互關係；知道同源染色體上相對位置的等位基因組合稱為基因型、個體性狀所表現的特徵則稱為表現型。主題三「人類性狀的遺傳」教學目標為知道人類ABO血型的遺傳模式，推算親代和子代的血型關係；利用棋盤方格法，應用於人類性狀的遺傳。

三、教學教材

本研究的教材內容為國中康軒版自然科學領域第二冊「遺傳」單元，三個主題包括「孟德爾遺傳實驗」、「基因與遺傳」及「人類性狀的遺傳」。孟德爾遺傳實驗難以在課堂裡實際操作，因豌豆的生長過程需費時2~3個月，若要完成親代至第二子代的過程，需耗費半年以上。另外，豌豆適合的生長季節在秋冬，而遺傳學課程多在春夏進行，且一般學校也沒有適當空間可進行此實驗，加上人工授粉的實驗困難度高，一般教學多只能以圖片或影片進行說明。棋盤方格也是很多學生感到困難的學習內容，學生常因抽象的機率計算問題產生許多另有概念。

(一)對照組

對照組進行一般教學，利用教學簡報、圖片進行教學。例如在孟德爾的實驗中，利用簡報呈現不同花盆的豌豆的照片，讓學生進行豌豆性狀觀察；實驗過程是利用簡報逐步呈現實驗步驟與結果；豌豆花色與人類性狀的遺傳則是利用簡報配合板書呈現棋盤方格運算過程。

(二)實驗組

實驗組使用遺傳學學習系統進行教學，此學習系統結合VR和AR技術，在系統設計時，由專家小組7人含科技教育專家1人、科學教育專家1人、軟體工程師2人及國中生物資深教師3人定期開會討論根據不同學習內容特性挑選搭配適合的VR及AR優勢，建置有利的學習環境，以優化學生的學習效果。本研究使用平板結合VR軟體，是屬於桌上型VR；AR的技術採標記式AR，學生透過平板掃描特定的QR code圖卡提供系統辨識，在真實環境中產生AR的效果及學習資訊。表1呈現在設計遺傳學學習系統時每個主題的不同學習內容和VR及AR優勢的搭配情形以克服一般教學可能遭遇的問題或困難。

以下表2舉例說明遺傳學學習系統在系統設計時如何針對每個主題的不同學習內容特性搭配合適的VR和AR優勢，使能提供有利的學習環境，幫助學生理解抽象和困難的科

學概念。教學後也設計和遺傳學相關概念的「遺傳學二階診斷測驗」以評估學習成效。

四、研究工具

(一)遺傳學二階診斷測驗

本研究的二階診斷測驗修改自楊坤原與張賴妙理(2004b)所發展的「國中遺傳學概念學習調查表」以及何秋萱(2005)所發展的「二階段遺傳學概念診斷調查表」，有關遺傳的題目，共有六題，本研究的二階診斷測驗試題的主題、主要概念與學習內容和題號如表3。

本試題邀請專家小組檢視試題，確認題目是否符合主題、主要概念和學習內容。專家小組包含一位科學教育專家及二位資深國中生物教師，進行試題內容的檢視，直到專家小組對試題內容達一致意見，確認內容效度。本研究以七年級157位學生施測，信度係數KR-20為.70，達可接受程度(Nunnally, 1978)。範例試題如下：

表1：遺傳學學習系統設計

主題	次主題	VR	AR	VR與AR優勢
孟德爾遺傳實驗	性狀的觀察		✓	透過AR在真實環境中與豌豆虛擬物件進行互動，能夠從不同角度觀察豌豆的性狀。克服一般教學無法提供真實豌豆各種性狀讓學生觀察的問題。
	遺傳實驗操作	✓		利用AR使得學生可以在真實環境中操作孟德爾雜交實驗，並且運用VR模擬出實驗操作的結果、豌豆生長的過程，利用時間軸可讓使用者自行選擇播放豌豆成長的階段或重複觀看各階段變化過程。克服真實環境中無法長時間觀察豌豆生長過程的問題。
	豌豆花色卡牌任務		✓	AR可在真實環境中與虛擬物件進行互動，且學生在掃描卡牌的過程可從不同角度觀察對應的虛擬物件，也可搭配卡牌的組合，產生對應的子代基因型和表現型，同時在虛擬物件旁邊呈現遺傳機率運算結果。克服棋盤方格抽象的機率計算問題。
人類性狀的遺傳	單雙眼皮、A B O 血型遺傳		✓	AR可在真實環境中與虛擬物件進行互動，且學生在掃描卡牌的過程可從不同角度觀察對應的虛擬物件，也可搭配卡牌的組合，產生對應的子代基因型和表現型，同時在虛擬物件旁邊呈現遺傳機率運算結果。克服棋盤方格抽象的機率計算問題。

表2：實驗組教學教材範例

主題一：孟德爾的遺傳實驗(AR + VR)

系統設計：1.利用AR在真實環境出現豌豆，可改變位置任意翻轉不同角度以觀察豌豆性狀，見圖2。

2.利用AR在真實環境進行孟德爾遺傳雜交實驗，使用剪刀與毛筆為豌豆進行授粉實驗，見圖3。

3.授粉後，根據孟德爾實驗親代變因的設計，利用VR呈現實驗互動的結果(授粉、開花至結果動態連續過程)，此實驗結果是根據親代性狀的變因設計而來，實驗結果包括豌豆成長過程及子代性狀表現；在豌豆成長過程中，利用巨觀及特寫角度呈現種子成熟過程，見圖4；畫面中出現時間軸可讓使用者自行選擇播放豌豆成長的階段或重複觀看種子成熟過程。

4.種子成熟後，VR呈現豆莢，使用者摘採豆莢才會進行播種，見圖5；播種後呈現第一子代及第二子代的花色真實比例，使用者可以透過實際計算紫花與白花的比例瞭解實驗結果，見圖6。

5.實驗後進行遊戲練習，利用AR在真實環境中與虛擬物件進行互動；搭配卡牌的組合，產生對應的子代基因型和表現型，同時在虛擬物件旁邊呈現機率運算結果，見圖7。

學習內容：性狀由基因決定，基因有顯性與隱性之別，當顯性與隱性基因同時存在情況下，會表現顯性性狀。

系統優勢：在真實情境進行實驗操作，具高度互動性與擬真性，學生可重複操作實驗，不受時間與空間限制，縮短實驗時間、節省成本，可任意翻轉不同角度，動態連續畫面清楚呈現實驗過程。

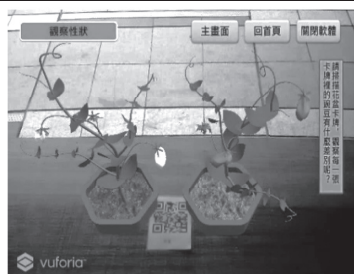


圖2：AR觀察性狀，可任意翻轉不同角度觀察



圖3：AR依照說明完成實驗操作，動態呈現實驗過程和結果



圖4：VR呈現開花結果過程，利用時間軸可自行選擇播放豌豆成長的階段或重複觀看各階段變化過程



圖5：VR顯示豆莢，可摘採豆莢，操作種子掉落，完成播種



圖6：VR操作，進行子代播種，觀察子代花色實際比例，學生可計算花色比例

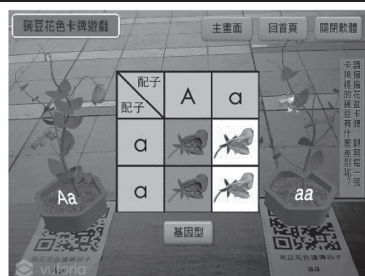


圖7：利用AR在真實環境與虛擬物件進行互動，同時在虛擬物件旁邊呈現機率運算結果

表2：實驗組教學教材範例(續)

主題三：人類性狀的遺傳(AR)

系統設計：1. 使用AR在真實環境出現親代精子或卵子模型，學生可在真實環境中與虛擬物件進行互動，同時呈現親代性狀基因型與表現型，見圖8與圖9。

2. 使用AR學生可根據老師指示或自行組合，搭配卡牌的組合，產生對應的子代基因型和表現型，同時在虛擬物件旁邊呈現遺傳機率運算結果，學生可重複練習至熟稔為止，見圖10。

學習內容：性狀的遺傳會根據孟德爾遺傳法則，擁有隱性性狀的個體(aa)是由親代各獲得一個隱性基因。

系統優勢：將數位訊息與虛擬物件結合，創造一個擬真的學習環境，微觀視野觀察精子與卵子，再透過畫面呈現各種基因組合的顯性與隱性抽象概念。老師可以給予即時任務，學生可以多次練習且立即得到回饋，降低實驗操作的錯誤，促進概念理解。

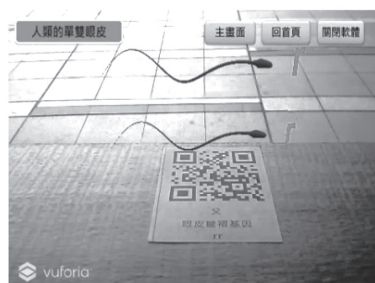


圖8：掃描父親卡牌，AR呈現父親產生的精子基因型種類



圖9：掃描母親卡牌，AR呈現母親產生的卵子基因型種類

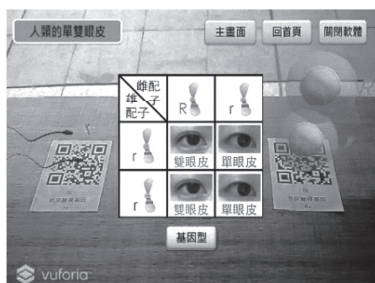


圖10：同時掃描父母的卡牌，AR呈現所有的表現型組合

表3：二階診斷測驗試題的主題、主要概念、學習內容和題號

主題	主要概念	學習內容	題號
孟德爾遺傳實驗	基因有顯性與隱性之分	控制生物遺傳性狀的基因有顯性與隱性之別，當顯性與隱性基因同時存在的情況下，只有顯性基因控制的性狀才會表現出來。	3
	棋盤方格與機率	由棋盤方格可推知每一子代所出現性狀的機率為何。並知道已生出的子代個體性狀，不會影響下一代之機率。	4
基因與遺傳	染色體上的基因數	人體一條染色體上，有控制多種性狀的等位基因。	1
	基因在染色體上標示位置	控制同一性狀的一對等位基因，位於同源染色體相對位置。	2
人類性狀的遺傳	血型的遺傳	控制ABO血型的基因有三種等位基因，等位基因兩兩配對的結果，會有不同的血型。	5
	隱性性狀的遺傳	隱性性狀的個體(aa)應由親代各獲得一個隱性基因。	6

如果有一種性狀明顯地出現在許多人的身上，這種性狀必然是屬於顯性性狀。你認為以上的敘述是：

☐對 ☐錯

你選擇上面答案的理由是：

☐①顯現在人身上的性狀未必就是顯性性狀。

☐②親代所具有的顯性性狀一定會在子代身上表現出來。

☐③隱性基因控制性狀表現的能力比顯

性基因弱，所以隱性性狀較少表現出來。

- ☐④顯性基因和隱性基因同時存在的情況下，必須有顯性基因來遮蔽隱性基因可能產生的害處。

(二)學習投入程度量表

本研究的學習投入程度量表取自賴英娟與巫博瀚(2017)的「學習投入程度量表」中的行為投入面向，包含「努力」、「專注」及「堅持」三個分量表，每個分量表各5題，共計15題，以測量國小高年級學童學習投入的情形。問卷以李克特五點量表形式設計，受試學生對問卷內容的陳述依照自己學習經驗或內心實際感受來選擇答案。賴英娟與巫博瀚進行驗證性因素分析，結果顯示具有好的建構效度。努力、專注及堅持的信度係數分別為.93、.95及.92。本研究以七年級157位學生施測，在「努力」、「專注」及「堅持」各分量表的信度Cronbach's α 值分別

為.86、.90及.84，總量表為.94，皆達良好程度(Nunnally, 1978)。題目範例如表4。

(三)探究能力學習單

探究能力學習單是依據《十二年國民基本教育課程綱要》探究能力四個項目的學習表現編製而成，其中的科學探究能力包含四個面向的項目分別為「觀察與定題」、「計劃與執行」、「分析與發現」、「討論與傳達」。本研究的教學單元是「遺傳學」，考量教材內容特性，實驗需經歷數月的時間以及植物人工授粉的實驗困難度，因此沒有讓學生進行真實實驗，所以沒有檢視學生在計劃與執行的探究能力。實驗組與對照組皆完成相同的探究能力學習單。下列表5說明本研究著重在探究能力三個項目的學習表現。

本研究在進行實驗教學時會在學習單給予學生學習任務，對於學生完成學習任務的表現會以探究能力檢核表評估學生探究能力的表現情形。此探究能力檢核表的內容由一

表4：學習投入程度量表題目範例

題號	題目	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意
1	在學校學習時，我會試著努力做到最好。	☐	☐	☐	☐	☐
10	我總是全神貫注地專心上課。	☐	☐	☐	☐	☐
14	當我聽不懂老師所教的學習內容時，我仍會堅持設法瞭解。	☐	☐	☐	☐	☐

表5：本研究探究能力三個項目的學習表現

項目	探究能力	學習表現
項目一	觀察與定題	觀察：能從學習活動中，進行各種有計畫的觀察，進而能察覺問題。 定題：能以科學方式尋求解決問題的假說，並能依據假說，提出適宜探究之問題。
項目二	分析與發現	能運用科學原理、思考智能、數學等方法，從所得的資訊或數據，形成解釋、發現新知、獲知因果關係、解決問題或是發現新的問題。
項目三	討論與傳達	利用口語將自己的分析發現報告出來，並將自己的探究結果和同學的結果或其它相關的資訊比較對照，相互檢核，確認結果。

位科學教育學者及二位資深國中生物教師進行檢視學習單的學習任務、探究能力項目、評量重點、評量標準是否適切，以確認內容效度，見表6。實驗教學後由兩位國中資深

生物教師先對20位學生的填答進行試評，評分者信度達.93，對於兩位教師意見不一致的題目再進行討論，直到兩位教師意見相同為止。學習單的評估和計分方式為針對兩組

表6：探究能力檢核表

學習任務	探究能力項目	評量重點	評量標準
請寫下「花盆一」、「花盆二」、「花盆三」卡牌中觀察到的豌豆中，所有相同與不同的特徵？	觀察	仔細觀察軟體畫面(實驗組)或照片(對照組)，找出兩盆花盆有何相同或不同特徵。	A、能從軟體畫面或照片中發現到總共3個以上兩花盆相同或不同的特徵(需同時包含相同與不同特徵)。 B、能從軟體畫面或照片中發現到總共2個兩花盆相同或不同的特徵(需同時包含相同與不同特徵)。 C、只能從軟體畫面或照片中發現到總共1個兩花盆相同或不同的特徵。 D、無法從軟體畫面或照片中發現兩花盆相同或不同的特徵。
活動中，我們看到豌豆有各種不同性狀，從這個觀察結果中，想想看，如果你想研究遺傳性狀，請你從單一變因(性狀)提出你想探討的問題及假設。	定題	學生可從多個變因中，決定一個變因、形成可驗證的假設、並根據此假設預測可能結果。	A、可從多個性狀中，決定一個性狀形成可探討問題，並能夠利用操作變因(親代性狀)與應變變因(子代性狀)形成可驗證的假設與預測結果。 B、可從多個性狀中，決定一個性狀形成可探討問題，但無法利用操作變因(親代性狀)與應變變因(子代性狀)形成可驗證的假設與預測結果。 C、無法從多個性狀中，決定一個性狀形成可探討問題，或無法利用操作變因(親代性狀)與應變變因(子代性狀)形成可驗證的假設與預測結果。 D、無法寫出正確性狀名稱。
純品系親代:紫花與白花雜交，第一子代全部是紫花。你要如何解釋這個結果呢？	分析與發現	能運用所學經驗，從資訊或數據，形成解釋、發現新知、獲知因果關係。	A、能清楚推測出紫花為顯性遺傳因子、白花為隱性遺傳因子的概念。 B、無法清楚推測出紫花為顯性遺傳因子、白花為隱性遺傳因子的概念。 C、無法寫出相關理由與解釋。
第一子代紫花跟紫花雜交，生下的第二子代出現紫花與白花，且比例接近3:1。你又要如何解釋這個結果呢？	分析與發現	能運用所學經驗，從資訊或數據，形成解釋、發現新知、獲知因果關係。	A、能清楚利用孟德爾的實驗資料推導出3:1。 B、無法清楚利用孟德爾的實驗資料推導出3:1。 C、無法寫出相關理由與解釋。
將自己的分析發現報告出來，除了你的想法，其他人有沒有不同的想法？請把別人的想法寫下來，你同意別人的想法嗎？	討論與傳達	利用口語將自己的分析發現報告出來，且將自己的探究結果和同學的結果或其它相關的資訊比較對照，相互檢核，確認結果	A、能清楚說出自己與他人推論之原因，也能清楚比較兩者差異。 B、能清楚說出自己與他人推論之原因，但無法清楚比較兩者差異。 C、無法清楚說出自己與他人推論之原因，亦無法比較兩者差異。

學生在「觀察」與「定題」、「分析與發現」、「討論與傳達」項目的填答情形給予等級評估為A、B、C三個等級，隨後給予評分A為2分、B為1分、C為0分；評量標準若分為A、B、C、D四個等級，則A為3分、B為2分、C為1分、D為0分。

五、實驗設計

本研究採準實驗設計，研究對象來自國中七年級六個班級，其中三個班級為實驗組進行遺傳學學習系統教學，結合VR和AR技術的學習環境；三個班級為對照組進行一般教學。

二組皆進行四節課共180分鐘的教學，實驗教學前一週，實驗組與對照組進行「遺傳學二階診斷測驗」和「學習投入程度量表」前測；在主題一孟德爾的遺傳實驗教學進行中，實驗組與對照組皆完成「探究能力學習單」各項學習任務填寫；實驗教學結束後一週實驗組與對照組進行「遺傳學二階診斷測驗」和「學習投入程度量表」後測，實驗設計見圖11。

肆、研究結果與討論

一、遺傳學學習系統對學生科學概念理解的影響

將學生在「遺傳學二階診斷測驗」的填答，依據Özmen等(2009)的二階診斷測驗概念分類表進行概念分類，第一階、第二階答題皆正確者為具有正確的科學概念，若部分答對或全部答錯者列為具有另有概念。表7將學生於二階診斷測驗前測、後測的填答情形依二階診斷測驗概念分類檢核表進行分類。

(一)遺傳學學習系統對學生在遺傳學整個單元概念理解的影響

首先參考楊坤原與張賴妙理(2004a)的研究將學生在二階診斷測驗的填答轉化為分

表7：二階診斷測驗概念分類檢核

第一階	第二階	答題類型	類型
正確回答	正確回答	正確-正確	科學概念
錯誤回答	正確回答	錯誤-正確	另有概念
正確回答	錯誤回答	正確-錯誤	另有概念
錯誤回答	錯誤回答	錯誤-錯誤	另有概念

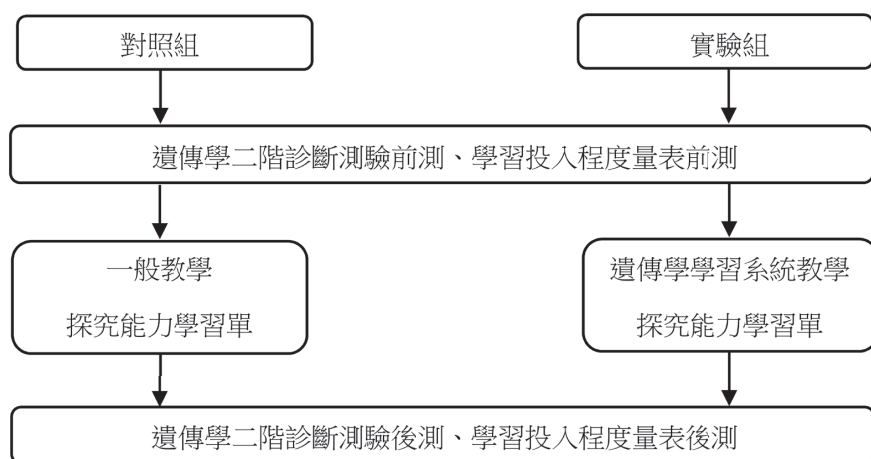


圖11：實驗設計

數，科學概念得1分，另有概念得0分，隨後再以遺傳學二階診斷測驗前測分數為共變項，教學方法為自變項，遺傳學二階診斷測驗後測分數為依變項，進行獨立樣本單因子共變數分析(one-way analysis of covariance)，探討學生在接受不同教學方法後，二組學生概念理解的表現是否有差異。

在進行共變數分析前，先檢定組內迴歸係數同質性的假設， $F(1, 157) = 1.38, p = .24 > .05$ ，未達.05的顯著水準，表示共變項與依變項的關係不會因自變項各種處理的不同而有所差異，即以共變項對依變項進行迴歸分析所得到的斜率並無不同，所以符合組內迴歸係數同質性，因此可以進行共變數分析。由表8共變數分析結果得知，組別考驗效果達顯著， $F(1, 157) = 17.12, p < .001$ ，淨相關 $\eta^2 = .10$ ，屬於中效果量(Cohen, 1988)。在遺傳學二階診斷測驗後測成績，實驗組調整後平均數為4.09，對照組調整後平均數為2.93，實驗組平均數大於對照組，顯示遺傳學學習系統教學對學生在遺傳學單元整體概念理解顯著優於一般教學。

本研究結果顯示利用遺傳學學習系統教學能有效促進國中學生遺傳學整個單元概念理解，此研究結果與Shim等(2003)、Tarng等(2014)、Chiang等(2014)以及Sirakaya與Cakmak (2018)的研究結果相同，但與Dede等(1996)及Annetta等(2009)的研究結果不同。Dede等利用沉浸式、多重感官體驗與電腦生

成技術的科學空間(3D環境) VR軟體，發現使用VR在部分科學主題(牛頓力學)的教學，無法提升高中學生的概念理解，可能的原因為在牛頓力學的主題中，受試者受到3D環境軟體介面的疲勞現象及認知負荷等因素影響。例如：少部分學生表示VR使用中會產生眼睛疲勞、頭痛、頭暈和噁心的現象，而且部分學生無法立即適應選單的使用及軟體介面的操作，教師必須在學習過程中再個別進行指導，這些問題影響了學生學習效果。Annetta等發展了一套VR遊戲式教育軟體(MEGA)用於教學，學生透過挑戰VR軟體內的遊戲任務，可從中探究、學習有關孟德爾遺傳實驗、血型 and DNA指紋辨識等概念。但是利用遊戲影片作為教學的工具，遊戲玩法與規則的理解就變得很重要，大多數的遊戲軟體都必須多次給予玩家足夠的時間適應遊戲，更何況是學習性的遊戲軟體，由於學生僅接觸過一次MEGA教學軟體，可以說他們的大部分時間都花在探索周圍環境和感受遊戲過程上，因此在教學後並未明顯提升學生的概念理解。本研究的遺傳學學習系統是結合VR與AR的獨特優勢開發而成，透過平板電腦掃描圖卡，結合真實環境與虛擬物件，讓學生與真實環境互動進行實驗操作，實驗可重複操作與立即回饋，軟體設計過程並沒有複雜的遊戲規則以及太多的裝置設備，操作步驟指示清楚，符合教學軟體的認知易用性，例如圖片清晰、字體大小剛好、操作容易、操作方便；另外，本遺傳學學習系統依據遺傳學

表8：遺傳學二階診斷測驗後測單因子共變數分析摘要表

變異來源	型III平方和	自由度	F檢定	顯著性	淨相關 η^2
前測成績	115.95	1	37.69***	< .001	.20
組別	37.20	1	17.12***	< .001	.10
誤差	473.80	154			
總和	2576.00	157			

註：*** $p < .001$ 。

另有概念開發而成，目的在澄清學生的另有概念，對學生的概念理解可以有較好的學習效果。

(二)遺傳學學習系統對學生在遺傳學個別概念理解的影響

計算每題前後測的科學概念與另有概念人數、百分比，隨後將後測的科學概念百分比減去前測的科學概念百分比，計算出科學概念改變量，並將每題的科學概念改變量的百分數轉換為折線圖。

表9與圖12呈現實驗組和對照組在二階診斷前後測各題的科學概念改變量百分數。六題皆顯示遺傳學學習系統教學的科學概念改變量比一般教學高。尤其在第四題棋盤方格與機率，促進學生概念理解效果最好，棋

盤方格的學習與人類遺傳的應用問題一直是很多學生學習困難的地方，學生經常因為學習時間或練習不足而學習表現不佳，本研究學生依照老師設計的各種棋盤方格與機率任務，可多次練習且依照各種不同的親代基因組合來掃描QR code，立即觀看子代遺傳性狀結果及基因形式，研究結果顯示AR可以明顯提升學生對棋盤方格與機率的學習。

最後再進行卡方檢定(chi-square)，表10呈現實驗組和對照組二階診斷後測六題的chi-square分析結果。研究結果顯示孟德爾遺傳實驗中「基因有顯性與隱性之分」概念同時搭配VR與AR設計；「棋盤方格與機率」、「血型的遺傳」、「隱性性狀的遺傳」等概念搭配AR設計，能有效促進學生概念理解。

表9：兩組二階診斷測驗六題科學概念與另有概念人數、百分比和科學概念改變量

題號	虛擬學習系統(<i>n</i> = 79)					一般教學(<i>n</i> = 78)				
	前測		後測		改變量	前測		後測		改變量
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
第一題										
科學概念	25	31.6	39	49.4	17.8	23	29.5	27	34.6	5.1
另有概念	54	68.4	40	50.6		55	70.5	51	65.4	
第二題										
科學概念	31	39.2	52	65.8	26.6	27	34.6	39	50.0	15.4
另有概念	48	60.8	27	34.2		51	65.4	39	50.0	
第三題										
科學概念	20	25.3	38	48.1	22.8	22	28.2	26	33.3	5.1
另有概念	59	74.7	41	51.9		56	71.8	52	66.6	
第四題										
科學概念	24	30.4	52	65.8	35.4	30	38.5	34	43.6	5.1
另有概念	55	69.6	27	34.2		48	61.5	44	56.4	
第五題										
科學概念	10	12.7	48	60.8	48.1	12	15.1	34	43.6	28.5
另有概念	69	77.3	31	39.2		66	84.9	44	56.4	
第六題										
科學概念	27	34.2	59	74.4	40.2	25	32.1	45	57.7	25.3
另有概念	52	65.8	20	25.6		53	67.9	33	42.3	

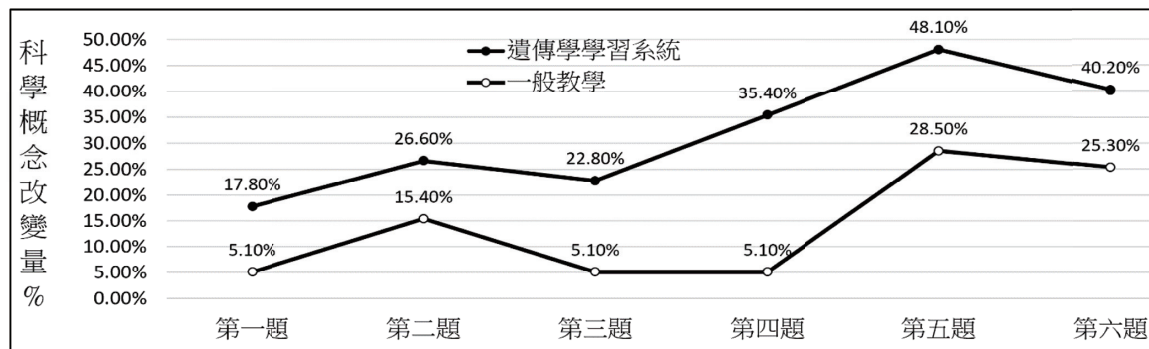


圖12：兩組二階診斷測驗六題前後測的科學概念改變量

表10：兩組二階診斷測驗後測chi-square分析結果

單元主題	題號	主要概念	χ^2	p	chi-square分析結果
單元一	第三題	基因有顯性與隱性之分	4.21*	.040	學習系統組 > 一般教學組
孟德爾遺傳實驗	第四題	棋盤方格與機率	9.70**	.002	學習系統組 > 一般教學組
單元二	第一題	染色體上的基因數	4.87*	.027	學習系統組 > 一般教學組
基因與遺傳	第二題	基因在染色體上標示位置	4.03*	.045	學習系統組 > 一般教學組
單元三	第五題	血型的遺傳	4.64*	.031	學習系統組 > 一般教學組
人類性狀的遺傳	第六題	隱性性狀的遺傳	5.07*	.024	學習系統組 > 一般教學組

註：* $p < .05$, ** $p < .01$ 。

值得一提的是在國中遺傳學單元，孟德爾的遺傳實驗是無法實際進行實驗操作，而本研究遺傳學學習系統可模擬孟德爾的遺傳實驗，從授粉的操作到最後結果的分析，都讓學生可以模擬、觀察、體驗實驗過程。研究結果顯示本研究使用的遺傳學學習系統有助學生理解孟德爾遺傳實驗顯性與隱性基因的抽象概念。推測此學習系統有助學生理解抽象概念的原因為遺傳學學習系統利用VR與AR的獨特優勢，如VR提供3D虛擬環境，透過虛擬物件擬真性，不受教學環境限制，畫面可呈現豌豆授粉、開花及結果的動態連續過程，並透過子代紫花與白花的比例探討遺傳法則；同時利用AR優勢，讓學生在真實環境進行遺傳實驗，學生掃描豌豆花盆、剪刀、毛筆等圖卡，可以透過不同角度觀察豌

豆性狀及實際操作遺傳實驗，增加與真實環境的互動性；同時掃描各種不同的親代基因組合圖卡，可以立即觀看子代遺傳性狀表現型及基因型，學生可以多次練習且立即得到回饋，促進概念理解。總之，結合VR與AR技術發展的遺傳學學習系統可以提升學生在遺傳學整個單元的概念理解，也可以提升學生在遺傳學個別概念的概念理解。

二、遺傳學學習系統對學生學習投入程度的影響

在進行共變數分析前，先檢定組內迴歸係數同質性的假設， $F(1, 157) = 1.58$ ， $p = .21 > .05$ ，未達.05的顯著水準，表示共變項與依變項的關係不會因自變項各種處理的不同而有所差異，即以共變項對依變項進行

迴歸分析所得到的斜率並無不同，所以符合組內迴歸係數同質性，因此可以進行共變數分析。由表11共變數分析結果得知整體量表組別考驗效果達顯著， $F(1, 157) = 12.66$ ， $p < .001$ ，淨相關 $\eta^2 = .08$ ，屬於中度效果量(Cohen, 1988)；另外在「努力」分量表中，組別考驗效果達顯著， $F(1, 157) = 7.49$ ， $p = .007 < .05$ ，淨相關 $\eta^2 = .05$ ，屬於低度效果量(Cohen)；在「專注」分量表中，組別考驗效果達顯著， $F(1, 157) = 10.01$ ， $p = .002 < .05$ ，淨相關 $\eta^2 = .06$ ，屬於中度效果量(Cohen)；在「堅持」分量表中，組別考驗效果達顯著， $F(1, 157) = 7.74$ ， $p = .006 < .05$ ，淨相關 $\eta^2 = .05$ ，屬於低度效果量(Cohen)，研究結果顯示使用遺傳學學習系統教學對學生整體的學習投入程度及在「努力」、「專注」與「堅持」面向的學習投入程度皆顯著高於一般教學。

本研究與Annetta等(2009)、Allcoat與von Mühlenen (2018)以及Parong與Mayer (2018)的研究結果一致，都指出使用虛擬學習系統可以提升學生課堂學習投入的程度；但與Sirakaya與Cakmak (2018)的研究結果不同，Sirakaya與Cakmak的研究指出，AR教學無法提升國中學生天文課堂的課程參與程度，可能的原因為AR讓學生以自己的節奏和方式學習，減少了學生之間的交流和互動，因而降低了他們課程的參與程度。而本研究的學生

是兩人一組進行平板電腦操作與卡牌放置，推測可能是學生互相合作完成實驗，提高了學生的課程參與程度。

三、遺傳學學習系統對學生探究能力的影響

(一)遺傳學學習系統對學生「觀察」與「定題」的影響

由「觀察」探究能力 t 檢定得知，組別考驗效果達顯著， $t_{(155)} = 3.5$ ， $p = .001 < .05$ ，顯示使用遺傳學學習系統教學提升學生的「觀察」探究能力顯著優於一般教學。可能的原因為遺傳學學習系統的互動性與立即性能提高學生的學習興趣與投入程度，在孟德爾實驗的模擬中，遺傳學學習系統具有豐富的視覺與聽覺刺激，讓學生可以觀察到畫面中較多的資訊。

由「定題」探究能力 t 檢定得知，組別考驗效果未達顯著， $t_{(155)} = .81$ ， $p = .419 > .05$ ，顯示使用遺傳學學習系統教學提升學生「定題」探究能力的效果和一般教學相似，可能的原因為「要能尋求解決問題的假說，並能依據假說，提出適宜探究的問題能力」，此能力的培養可能需要較多次的訓練與學習。

(二)遺傳學學習系統對學生「分析與發現」的影響

由「分析與發現」探究能力 t 檢定得知，

表11：學習投入程度量表後測單因子共變數分析摘要表

變異來源	型III平方和	自由度	F檢定	顯著性	淨相關 η^2
投入前測	6239.40	1	131.94***	< .001	.46
組別	598.51	1	12.66***	< .001	.08
誤差	7282.72	154			
總和	522699.00	157			

註：*** $p < .001$ 。

組別考驗效果未達顯著， $t_{(155)} = -1.12$ ， $p = .263 > .05$ ，顯示使用遺傳學學習系統教學提升學生「分析與發現」探究能力的效果和一般教學相似。可能的原因為要能運用科學原理、思考智能、數學等方法，從所得的資訊或數據，形成解釋、發現新知、獲知因果關係、解決問題的能力，此能力的培養可能需要較多次的訓練與學習。

(三)遺傳學學習系統對學生「討論與傳達」的影響

由「討論與傳達」探究能力 t 檢定得知，組別考驗效果達顯著， $t_{(155)} = 3.14$ ， $p = .002 < .05$ ，顯示使用遺傳學學習系統教學提升學生的「討論與傳達」探究能力顯著優於一般教學。可能的原因為遺傳學學習系統的互動性與立即性提高了學生的興趣與投入程度，學生樂於參與課堂上活動，願意分享自己的想法，也願意說明自己想法與別人不同的地方。

過去研究發現VR與AR可以提升學生科學探究能力(Lin et al., 2022; Wu et al., 2021)，但本研究結果顯示VR與AR在探究能力的不同項目有不同的影響，可能的原因為不同的研究對於科學探究能力的定義不一致，本研究是採用教育部2018年頒布的《十二年國民基本教育課程綱要》中學習表現探究能力問題解決為指標，以觀察與定題、計劃與執行、分析與發現、討論與傳達為問題解決的項目。Wu等則是給予學生工作任務，利用針孔成像原理製作自己的日月燈，由學生提出問題解決方案，利用製作內容的結構性、準確性、完整性與整體設計的外觀性、創新性、安全性進行探究能力的評估。Lin等以四個階段來評估探究能力，包括概念理解階段(新概念與自身經驗比較)、反思認知階段(整合不同群體意見，瞭解自身經驗的各種錯

誤)、深入探究階段(提出問題解決方案)、知識建構階段(通過不斷解決問題來內化知識)。

伍、結論與建議

一、使用遺傳學學習系統教學對學生在遺傳學整個單元的概念理解顯著優於一般教學，也有助學生理解抽象複雜的遺傳學個別概念，例如：「基因有顯性與隱性之分」、「棋盤方格與機率」、「血型的遺傳」和「隱性性狀的遺傳」。本研究發現應用AR和VR的獨特優勢在不同特性的概念能提升學生的概念理解，例如：VR提供3D虛擬環境，透過虛擬物件擬真性，不受教學環境限制，呈現豌豆授粉、開花及結果的動態連續過程，並透過子代紫花與白花的比例探討遺傳法則；AR讓學生掃描豌豆花盆、剪刀、毛筆等圖卡，讓學生可以透過不同角度觀察豌豆性狀及實際操作遺傳實驗，增加教學互動性，同時AR讓學生可以掃描親代基因組合圖卡，立即觀看子代遺傳性狀表現型及基因型，學生可以多次練習且立即得到回饋，促進概念理解。建議未來能有更多學者針對學生容易感到抽象困難的科學單元如電與磁，在腳本撰寫時能考量不同特性的概念搭配VR和AR的獨特優勢以發展虛擬學習系統。

二、使用遺傳學學習系統教學對學生學習投入程度顯著優於一般教學。過去研究發現學生個人使用學習系統學習，學習者以自己的節奏和方式學習，減少了學生之間的交流和互動，因而可能會降低他們課程的參與程度。而本研究發現兩人一組進行平板電腦操作與卡牌放置的學習系統教學，可增加學生互相合作機會，可能因為透過學生之間的合作學習

完成任務提高了學生的課程參與程度，但本研究並未探討小組使用學習系統的人數與課程投入程度的關係，建議未來研究可以探討小組人數使用學習系統對學生課程參與程度的影響。

三、本研究發現結合VR與AR的學習系統在探究能力的不同項目有不同的影響，例如遺傳學學習系統可以提升學生在「觀察」與「討論與傳達」的探究能力，但對學生在「定題」與「分析與發現」的探究能力和一般教學沒有顯著差異。目前國內較少探討VR與AR對探究能力的影響，建議未來可以有更多的研究以《十二年國民基本教育課程綱要》的探究能力問題解決四面向的「觀察與定題」、「計劃與執行」、「分析與發現」、「討論與傳達」等項目進行探討。

四、本研究中的遺傳學學習系統設計是利用平板為載具，沒有複雜的遊戲規則以及裝置設備，操作步驟指示清楚，符合教學軟體的認知易用性，研究結果顯示結合VR和AR的遺傳學學習系統可以提升學生概念理解。目前教育部推動生生用平板，行動載具數位學習已普遍推廣至教學現場，建議未來設計虛擬學習系統可以考量教學軟體的認知易用性及教學設備普及性，讓虛擬學習系統能更普遍推廣應用。

誌謝

本研究感謝科技部經費補助(MOST 108-2511-H-007-009-)，並經審查委員提供寶貴意見，在此特致謝忱。

參考文獻

- 何秋萱(2005)。Flash融入五階段概念改變教學策略對國中生遺傳概念改變的影響。未出版之碩士論文。國立彰化師範大學。
- [He, C.-H. (2005). *Flash rongru wujieduan gainian gaibian jiaoxue celüe dui guozhongsheng yichuan gainian gaibian de yingxiang* [Unpublished master thesis]. National Changhua University of Education.]
- 林志勇、黃維信、宋文旭、許峻嘉(2006)。認識虛擬實境。全華。
- [Lin, J.-Y., Huang, W.-S., Sung, W.-H., & Hsu, C.-C. (2006). *Renshi Xuni shijing*. Chuan Hwa.]
- 教育部(2018)。十二年國民基本教育課程綱要——國民中小學暨普通型高級中等學校：自然科學領域。https://reurl.cc/01mrjY
- [Ministry of Education. (2018). *Curriculum guidelines of 12-year basic education for elementary, junior high schools and general senior high schools—Natural sciences*. https://reurl.cc/01mrjY]
- 張鈿富、林松柏、周文菁(2012)。臺灣高中學生學習投入影響因素之研究。教育資料集刊，54，23-57。

[Chang, D.-F., Lin, S.-P., & Chou, W.-C. (2012). A study of the factors determining the engagement of high school students. *Bulletin of National Institute of Educational Resources and Research*, 54, 23-57.]

黃台珠(1993)。中學生遺傳學習的現況及問題。高雄師大學報，4，269-300。

[Huang, T.-C. (1993). Zhongxuesheng yichuan xuexi de xiankuang ji wenti. *Kaohsiung Normal University Journal*, 4, 269-300.]

楊坤原、張賴妙理(2004a)。發展和應用二段式診斷工具來偵測國中一年級學生之遺傳學另有概念。科學教育學刊，12(1)，107-131。https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1201.05

[Yang, K.-Y., & Changlai, M.-L. (2004a). Development and application of a two-tier diagnostics instrument to assess seventh grade students' alternative conceptions of genetics. *Chinese Journal of Science Education*, 12(1), 107-131. https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1201.05]

楊坤原、張賴妙理(2004b)。遺傳學迷思概念之文獻探討及其在教學上的啓示。科學教育學刊，12(3)，365-398。https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1203.05

[Yang, K.-Y., & Changlai, M.-L. (2004a). Literature review of genetics misconceptions and its implications on instruction. *Chinese Journal of Science Education*, 12(3), 365-398. https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1203.05]

歐陽明(1996)。漫談虛擬實境[VR]。光訊，58，1-4。

[Ouyang, M. (1996). Mantan xuni shijing [VR]. *Opto News & Letters*, 58, 1-4.]

賴英娟、巫博瀚(2017)。國中生學業情緒與學習投入對學業成就之影響。課程與教學，20(3)，139-163。https://doi.org/10.6384/CIQ.201707_20(3).0006

[Lai, Y.-C., & Wu, P.-H. (2017). The effects of academic emotion and learning engagement on the academic achievement of junior high school students. *Curriculum & Instruction Quarterly*, 20(3), 139-163. https://doi.org/10.6384/CIQ.201707_20(3).0006]

賴崇閔、黃秀美、廖述盛、黃雯雯(2009)。3D虛擬實境應用於醫學教育接受度之研究。教育心理學報，40(3)，341-361。https://doi.org/10.6251/BEP.20080422

[Lai, C.-M., Huang, H.-M., Liaw, S.-S., & Huang, W.-W. (2009). A study of user's acceptance on three-dimensional virtual reality applied in medical education. *Bulletin of Educational Psychology*, 40(3), 341-361. https://doi.org/10.6251/BEP.20080422]

謝旻儕、林語瑄(2017)。虛擬實境與擴增實境在醫護實務與教育之應用。護理雜誌，64(6)，12-18。https://doi.org/10.6224/JN.000078

[Hsieh, M.-C., & Lin, Y.-H. (2017). VR and AR applications in medical practice and education. *The Journal of Nursing*, 64(6), 12-18. https://doi.org/10.6224/JN.000078]

薛凱文(2010)。擴增實境應用探討——使用無標記技術。未出版之碩士論文。嶺東科技大學。

[Hsueh, K.-W. (2010). *The research about application of augmented reality—Using markless*

- technique* [Unpublished master thesis]. Ling Tung University.]
- Allcoat, D., & von Mühlenen, A. (2018). Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement. *Research in Learning Technology*, 26, Article 2140. <https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2140>
- Anderson, J. L., & Barnett, M. (2013). Learning physics with digital game simulations in middle school science. *Journal of Science Education and Technology*, 22(6), 914-926. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9438-8>
- Annetta, L. A., Minogue, J., Holmes, S. Y., & Cheng, M.-T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Computers & Education*, 53(1), 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.12.020>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Billinghurst, M., Grasset, R., & Looser, J. (2005). Designing augmented reality interfaces. *ACM Siggraph Computer Graphics*, 39(1), 17-22. <https://doi.org/10.1145/1057792.1057803>
- Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons. <https://reurl.cc/LAgnbx>
- Cawood, S., & Fiala, M. (2008). *Augmented reality: A practical guide*. Pragmatic Bookshelf.
- Chen, C.-C., Chen, H.-R., & Wang, T.-Y. (2022). Creative situated augmented reality learning for astronomy curricula. *Educational Technology & Society*, 25(2), 148-162. <https://reurl.cc/mDz-dej>
- Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H., & Hwang, G.-J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Educational Technology & Society*, 17(4), 352-365. <https://reurl.cc/mDzn6W>
- Chu, Y.-C. (2008). *Learning difficulties in genetics and the development of related attitudes in Taiwanese junior high schools* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Glasgow. <http://theses.gla.ac.uk/168/>
- Clancy, T. A., Rucklidge, J. J., & Owen, D. (2006). Road-crossing safety in virtual reality: A comparison of adolescents with and without ADHD. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 35(2), 203-215. https://doi.org/10.1207/s15374424jccp3502_4
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Collins, A., & Stewart, J. H. (1989). The knowledge structure of Mendelian genetics. *The American*

- Biology Teacher*, 51(3), 143-149. <https://doi.org/10.2307/4448880>
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- Dede, C., Salzman, M. C., & Bowen, L. R. (1996). ScienceSpace: Virtual realities for learning complex and abstract scientific concepts. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.), *Proceedings of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium* (pp. 246-252). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/VRAIS.1996.490534>
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9119-1>
- Erbas, C., & Demirer, V. (2019). The effects of augmented reality on students' academic achievement and motivation in a biology course. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 450-458. <https://doi.org/10.1111/jcal.12350>
- Kang, S.-C., Chan, Y.-C., Lu, C.-Y., Lai, J.-S., & Lee, T.-H. (2013). Development of virtual equipment: Case study of the venturi tube experiment. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 139(4), 281-289. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000158](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000158)
- Knippels, M.-C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655976>
- Kuh, G. D., Kinzie, J., Schuh, J. H., & Whitt, E. J. (2010). *Student success in college: Creating conditions that matter* (Rev. ed.). John Wiley & Sons.
- Lin, X.-F., Hwang, G.-J., Wang, J., Zhou, Y., Li, W., Liu, J., & Liang, Z.-M. (2022). Effects of a contextualised reflective mechanism-based augmented reality learning model on students' scientific inquiry learning performances, behavioural patterns, and higher order thinking. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2057546>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Ed.), *Telemanipulator and telepresence technologies* (Vol. 2351, pp. 282-292). Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Özmen H., Demircioğlu H., & Demircioğlu G. (2009). The effects of conceptual change texts accompanied with animations on overcoming 11th grade students' alternative conceptions

- of chemical bonding. *Computers & Education*, 52(3), 681-695. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.017>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785-797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Radford, A., & Bird-Stewart, J. A. (1982). Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, 16(3), 177-180. <https://doi.org/10.1080/00219266.1982.9654454>
- Rojas-Sola, J. I., & Aguilera-García, Á. (2018). Virtual and augmented reality: Applications for the learning of technical historical heritage. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1725-1733. <https://doi.org/10.1002/cae.22039>
- Sahin D., & Yilmaz R. M. (2020). The effect of augmented reality technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education. *Computers & Education*, 144, Article 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Shim, K.-C., Park, J.-S., Kim, H.-S., Kim, J.-H., Park, Y.-C., & Ryu, H.-I. (2003). Application of virtual reality technology in biology education. *Journal of Biological Education*, 37(2), 71-74. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655854>
- Sirakaya, M., & Cakmak, E. K. (2018). The effect of augmented reality use on achievement, misconception and course engagement. *Contemporary Educational Technology*, 9(3), 297-314. <https://doi.org/10.30935/cet.444119>
- Stull, A. T., & Hegarty, M. (2016). Model manipulation and learning: Fostering representational competence with virtual and concrete models. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 509-527. <https://doi.org/10.1037/edu0000077>
- Tarng, W., Lu, N.-Y., Shin, Y.-S., & Liou, H.-H. (2014). Design of a virtual ecological pond for motion-sensing game-based learning. *International Journal of Computer Science & Information Technology*, 6(2), 21-39. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2014.6202>
- Tarng, W., Tseng, Y.-C., & Ou, K.-L. (2022). Application of augmented reality for learning material structures and chemical equilibrium in high school chemistry. *Systems*, 10(5), Article 141. <https://doi.org/10.3390/systems10050141>
- Wu, J., Guo, R., Wang, Z., & Zeng, R. (2021). Integrating spherical video-based virtual reality into elementary school students' scientific inquiry instruction: Effects on their problem-solving performance. *Interactive Learning Environments*, 29(3), 496-509. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1587469>

Effects of A Genetics Learning System Combined With Augmented Reality and Virtual Reality on Junior High School Students' Genetics Understanding, Learning Engagement, and Inquiry Ability

Yih-Ru Lee¹, Wernhuar Tarn², Wen-Pin Chiu¹ and Tzu-Ling Wang^{1,*}

¹Graduate Institute of Mathematics and Science Education, National Tsing Hua University

²Institute of Learning Sciences and Technologies, National Tsing Hua University

Abstract

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) have unique capabilities that can impact the way students learn from them. The purpose of this study was to explore the influence of the genetics learning system combined with AR and VR on junior high school students' conceptual understanding, learning engagement, and inquiry ability. The genetics learning system is developed based on students' misconceptions related to genetics and combined with the corresponding unique advantages of AR and VR. It includes three topics: "Mendel's genetic experiment", "genetics and heredity" and "inheritance of human traits". The participants came from four classes in a junior high school in Taichung City and two classes in a junior high school in Hsinchu County. Three of the classes were the experimental group with 79 students, who adopted the genetics learning system, and the other two classes were the control group, with a total of 78 students, who adopted general teaching. This study adopted a quasi-experimental pretest-posttest design. The teaching time of the two groups was four classes, each class was 45 minutes, a total of 180 minutes, and the experimental teaching lasted for two weeks. The results showed that students taught with the genetics learning system facilitated students understanding of the whole genetics unit and individual concepts of genetics more than students taught with the general teaching. The results also showed that the learning engagement of the genetics learning system teaching is significantly better than that of the general teaching. In addition, the results showed that the instruction of the genetics learning system was significantly better than the general instruction for students' specific inquiry abilities such as observation, discussion, and communication. The implication of this study is that concepts with different characteristics can be matched with suitable AR and VR unique features to amplify the learning effect.

Key words: Inquiry Ability, Virtual Reality, Conceptual Understanding, Learning Engagement, Augmented Reality

* Corresponding author: Tzu-Ling Wang, tzuling.wang906@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8836-5028

Received: 2022/12/15, Revised: 2023/3/24, Accepted: 2023/4/6, Available Online: 2023/8/8