

網路探究活動對國中高、低批判思考能力學生之探究能力及演化概念知識的影響

陳欣珏 張俊彥*

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘要

本研究旨在使用Collaborative Web-based Inquiry Science Environment (CWISE)演化教材模組，探討網路探究活動對國中高、低批判思考能力學生探究能力及演化概念知識的影響，並瞭解不同批判思考能力學生的思考偏好。研究對象為七所學校的國中七年級學生共209位，採用質性與量化混和的研究方法。研究者依照學生批判思考能力不同分成高、低兩個組別。研究結果顯示，在探究活動前、中、後，批判思考能力高的學生在探究能力及演化概念知識上的表現情形顯著優於批判思考能力低的學生。另外，學生的探究能力與演化概念知識呈顯著正相關。研究結果亦發現兩組在探究活動後，其探究能力及演化概念知識皆顯著提升，可見此演化教材模組適用於不同批判思考能力的學生。研究者進而依據學生在腦力激盪的發言內容進行質性編碼，觀察不同組別的思考偏好差異。研究結果表明，高批判思考能力學生較多屬於反思型學生；低批判思考能力學生則較多屬於漫想型學生。最後，研究者依據研究結果提出在網路探究教學實踐及研究上的若干建議。

關鍵詞：批判思考能力、探究能力、演化概念學習、網路探究活動

壹、緒論

科學探究可以幫助學生更好的理解科學 (Abdi, 2014; Minner, Levy, & Century, 2010; Panasan & Nuangchalerms, 2010)，因此許多國家都將培養學生的探究能力作為一個重要的教育目標。美國國家科學教育標準(National Science Education Standards, NSES)指出「探究是科學學習的核心。在進行探究時，學生會描述對象和事件、指出問題、構建解釋、

根據當前的科學知識測試這些解釋，並將他們的想法傳達給他人」(National Research Council [NRC], 1996, p. 2)。根據十二年國民基本教育(簡稱十二年國教)自然科學領域的課程綱要，中小學生的學習重點在於「引導學生經由探究、閱讀及實作等多元方式，習得科學探究能力、養成科學態度，以獲得對科學知識內容的理解與應用能力」(國家教育研究院，2018，頁8)。然而，在課堂上實施探究教學也面臨許多難題。Edelson, Gordin與

*通訊作者：張俊彥，changcy@ntnu.edu.tw

(投稿日期：民國108年8月16日，修訂日期：民國108年12月20日，接受日期：民國108年12月20日)

Pea (1999)指出科技融入科學教育可以協助解決探究教學帶來的挑戰。隨著數位化時代的來臨，電腦輔助學習成了現今科學教育的發展趨勢。有別於以往教師為中心，知識傳遞為主的教學模式；在網路學習情境中，學習者透過主動探索來建構知識，教師則成為引導學生學習方向的協助者(Kearsley, 2000)。

美國科學促進會(American Association for the Advancement of Science [AAAS])在2010年*Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action* (《大學生物教育的願景與變革：行動呼籲》)的報告中，將演化理論列為具備科學素養的學生所需之核心概念(Woodin, Carter, & Fletcher, 2010)，演化教學的重要性可見一斑。然而，由於生物演化所涉及的時間尺度太長、空間尺度太廣，一直以來都是學生難以學習的單元。Nehm與Reilly (2007)的研究發現，儘管大學主修生物的學生也可能存有許多演化迷思概念。Lawson與Thompson (1988)的研究顯示，提升學生的推理能力有助於消除天擇迷思概念。推理能力意味著學生必須瞭解如何運用證據支持科學概念(Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982)。Abraham等(2009)的研究則顯示，以電腦模擬實驗輔助教學有助於學生釐清天擇常見的迷思概念。

探究歷程中，學生需要批判性及邏輯性地思考證據與解釋之間的關係(NRC, 1996, p. 105)。發展其批判思考能力有助於他們根據證據評估自己的信念並判斷他人的主張，使之採取合理的立場來解釋或支持理念(Mulnix, 2012)。批判思考能力對學生探究學習的重要性可見一斑。近年來有許多實徵研究發現探究教學可以激發學生的批判思考能力(Duran & Dökme, 2016; Wartono, Hudha, & Batlolona, 2018; Weaver, Samoshin, Lewis, & Gainer,

2016)，但鮮少有文獻關注不同批判思考能力學生在探究教學歷程中的學習表現，抑或瞭解學生的批判思考能力、探究能力，以及科學概念認知程度三者間的關聯性。另外，Norris (1985)提到大多數批判思考測驗只能評估學生思考後的結論，但無法明確瞭解學生作出結論的思考歷程。過去的文獻表明，學生思考歷程中的思考偏好會影響他們的學習風格(Felder, 1996)。教師藉由瞭解學生的學習風格改善教學方法，可以降低學生對學習的挫敗感並提升教學成效(Bodi, 1990; Felder; Reiff, 1992)。

有鑑於此，本研究擬在國中生物課程的演化單元中實施網路探究教學，探討國中不同批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識，並瞭解不同批判思考能力學生在思考歷程中的思考偏好。具體的研究問題如下：

- 一、高、低批判思考能力學生在探究活動歷程中的學習表現差異為何？
- 二、高、低批判思考能力學生在進行探究活動歷程中的思考偏好差異為何？
- 三、高、低批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識差異為何？
- 四、高、低批判思考能力學生在探究活動後的學習成效提升程度為何？
- 五、學生的探究能力與演化概念知識兩者間的關聯性為何？

貳、文獻探討

一、科學探究教學的意涵

根據NSES，「科學探究指的是科學家研究自然世界的各種方式，並根據他們工作得出的證據提出解釋。探究還涉及學生的活動，他們在這些活動中培養對科學的認識和

理解，並了解科學家如何研究自然世界。」(NRC, 1996, p. 23)科學探究是個多面向的活動，包括：觀察、提出問題、規劃研究，並使用適當的工具和技術收集、分析與解釋證據……等(NRC, p. 23)。NSES更進一步指出，讓學生參與科學探究有助於他們使用科學推理來培養對科學概念的理解，並瞭解科學的本質(NRC, p. 105)。

探究教學目的在於使學生參與真實的科學發現過程，讓學生遵循類似科學家的研究方法來建構知識(Keselman, 2003)。學生透過探究活動，可以組織他們的想法、培養高階思維和自主學習技能(Lim, 2004)。Bybee等(2006)提出的5E教學模型，將探究教學分成五個階段：

- (一)參與(engagement)：教師運用小活動引發學生的好奇心，引導學生將先備知識與現在的學習經驗聯繫起來。
- (二)探索(exploration)：學生設計研究及實驗以辨別迷思概念，並促進概念改變。
- (三)解釋(explanation)：學生解釋他們對概念的理解，教師的解釋則可以幫助學生更深入理解科學概念。

(四)闡述(elaboration)：教師進一步延伸科學概念，引導學生將概念加以應用在其他活動中。

(五)評估(evaluation)：評估學生對概念的理解及教學成效。

Pedaste等(2015)分析32篇描述探究階段的文獻，總結出探究學習的核心特徵。

整體而言，科學探究學習主要可分為五個階段(圖1)：

- (一)定位(orientation)：引入主題或理論，讓學生開始研究科學主題。在這個過程中，學生必須探索或觀察一種現象，激發其好奇心，使之對研究主題產生興趣。
- (二)概念化(conceptualization)：提出更具體的研究問題，形成可檢驗的假設，預測研究結果。
- (三)研究(investigation)：研究階段分三個子階段。1.探索、觀察、規劃並設計研究；2.進行實驗步驟，並收集數據；3.詮釋並分析所收集的數據，從中獲取意義並建構新知識。
- (四)結論(conclusion)：從數據中得出結論，

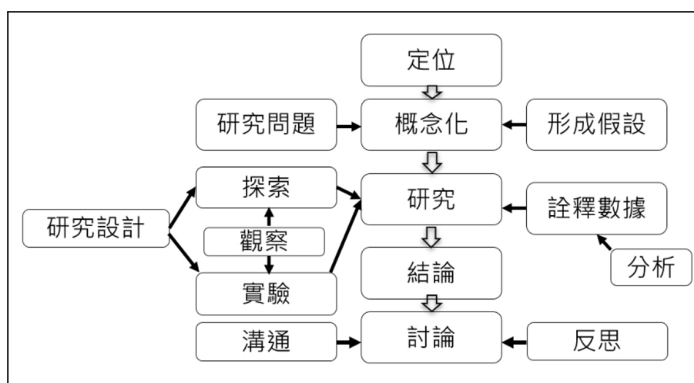


圖1：探究學習的各個階段

資料來源：引自“Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle,” by M. Pedaste, M. Mäeots, L. A. Siiman, T. De Jong, S. A. N. Van Riesen, E. T. Kamp, et al., 2015, *Educational Research Review*, 14, p. 51.

並與研究假設及預測作比較。將實驗所獲得的結論與科學知識連結，以建立科學理論與科學模型。

(五)討論(discussion)：反思(reflective thought)整個探究歷程及研究的成功性、比較新知識與先備知識、預測未來研究結果，並與他人討論分享。

Bell, Smetana與Binns (2005)依據教師是否提供研究問題、實驗進行步驟及研究結果，將探究教學分為四個層級(表1)：

(一)食譜式探究(confirmation)：學生事先知道研究結果。並遵照教師所指示的程序，逐步完成實驗步驟，並記錄結果。

(二)結構式探究(structured inquiry)：學生根據教師引導的程序，逐步完成教師所提供的研究問題。

(三)引導性探究(guided inquiry)：學生自行設計探究活動，回答教師所提供的研究問題。

(四)開放式探究(open inquiry)：自行設計探究活動及研究問題，經由老師同意後執行任務。

Hsu, Chang, Fang與Wu (2015)將學生在探究活動中所需培養的探究能力側重於實驗能力與解釋能力。實驗能力包括：

(一)選擇變因：規劃實驗時，能選擇適當的操縱變因及控制變因。

(二)規劃流程：能設計可行的實驗，並選擇適當的測量方式以獲取所需的資料。

(三)誤差控制：能選擇適當的測量範圍，且測量結果的精密度足以檢驗問題假設。

(四)資料轉化：能將所收集的數據以另一種表徵方式呈現變數間的關係。

解釋能力包括：

(一)形成主張：提出可測試的主張，說明資料間的分布趨勢。

(二)運用證據：使用適當且充分的證據以支持學說。

(三)產生推理：使用科學原則，提供連結證據到主張的推理。

(四)考慮另有解釋：評估另有解釋的合理性，並說明理由。

根據上述學者觀點，本研究以實驗能力及解釋能力作為評估學生探究能力的標準(criteria)依據。

二、探究教學的相關研究

Minner等(2010)分析探究教學相關的文獻，結果顯示探究教學可以增加幼稚園至十二年級(K-12)學生對科學概念的理解，包括：科學事實、科學原則，以及科學理論……等。另外，在探究教學中鼓勵學生主動思考、參與探究過程並強調從數據中獲得結論，可以提升學生對科學內容的理解。這

表1：探究教學的各個層級

層級	名稱	研究問題	實驗進行步驟	研究結果
1	食譜式探究	教師提供	教師引導	教師提供結果
2	結構式探究	教師提供	教師引導	學生自行探索
3	引導式探究	教師提供	學生設計	學生自行探索
4	開放式探究	學生設計	學生設計	學生自行探索

資料來源：引自“Simplifying inquiry instruction,” by R. L. Bell, L. Smetana, & I. Binns, 2005, *The Science Teacher*, 72(7), pp. 30-33.

表明吸引學生積極參與學習過程的探究教學策略可以幫助學生主動建構知識，比傳統被動的教學方式更能促進學生對科學概念的理解，與建構主義學習理論一致(Cakir, 2008)。許多研究亦指出探究教學可以增加學生的論證能力、推理能力、學習動機及學業成就(Abdi, 2014; Hwang, Chiu, & Chen, 2015; Stender, Schwichow, Zimmerman, & Härtig, 2018; Wilson, Taylor, Kowalski, & Carlson, 2010)。儘管如此，科學課堂上實施探究教學也面臨諸多重大挑戰。Edelson等(1999)提出五個主要的挑戰：(一)教學設計必須引起學生的學習動機。(二)學生必須知道如何執行他們的探究任務。例如：資料收集、分析、解釋，以及與他人交流。如果學生無法掌握這些技巧，那麼他們就無法進行有意義的調查研究。(三)學生的背景知識：如果學生缺乏足夠的科學內容知識，探究教學無法為學習者提供發展和應用科學概念的機會。(四)組織和協調複雜的探究活動。(五)學習環境的實際限制。例如：可用資源和固定時間表所施加的限制。基於上述的觀點，研究者考量到研究對象過去較少探究學習的經驗，在教材模組的設計上採取「結構式探究」，逐步引導學生發展其探究技能，以減輕學生在探究學習上可能面臨的諸多挑戰。

三、Web-Based Inquiry Science Environment (WISE)線上探究學習平臺

WISE是由美國柏克萊大學研發的線上探究學習平臺(<https://wise.berkeley.edu>)，教學者可在平臺上設計教材模組。WISE的特色在於學生必須按步驟依序完成教師所指定的探究任務，以便學生預測結果，反思自己的想法，並檢視自己的學習情形(Slotta, 2004)。當學生運用WISE平臺學習時，教師可以監控

學生的學習進度，並給予立即的回饋(Raes & Schellens, 2015)。WISE同時具備嵌入性評量功能，教學者可以在探究歷程中瞭解學生的學習情況，學生也可以藉此評估自己對科學概念的理解情形(Chiu & Linn, 2008)。WISE亦鼓勵學生以不同的方式記錄他們的想法，例如：繪圖工具讓學生以圖片或繪畫表達想法、反思筆記允許學生寫下對於主張的解釋……等。過去的研究指出，WISE平臺協助學生將自己原先的想法與新想法聯繫起來，讓學生反思兩者之間的衝突與協調性，進而區分不同觀點，以整合新的與現有的知識(Chiu & Linn, 2011)。

WISE平臺上的腦力激盪功能，允許全班同學共同討論特定主題，鼓勵學生建立自己的想法並與同儕分享交流。學生們可以在研究問題上集思廣益，以共同解決問題。Lim (2004)指出學生在討論過程中常會產生許多新鮮的想法，藉此探索他們感興趣的領域。除了本身具備的功能外，WISE亦可整合網路上既有的免費教學資源。因此，教師在設計教材模組時，可以嵌入適當的線上虛擬實驗室及動畫模擬，發展出符合學生需求的線上探究式學習環境(Matuk, Linn, & Eylon, 2015)。例如：採用Physics Education Technology (PhET)網站(<https://phet.colorado.edu>)所提供互動科學模擬，以類似遊戲的環境吸引學生探索學習(Moore, Chamberlain, Parson, & Perkins, 2014)。

四、批判思考的意涵

批判思考的意涵，不同學者有不同見解。美國心理學會(American Psychological Association [APA])以大慧(Delphi)調查法統整不同學者的意見，對「批判思考」提出一個廣泛被接受的定義：以反思的方式判斷該做

什麼或相信什麼(Facione, 1990)。Ennis (2011)認為批判思考意味著在判斷事物時，設計決策標準對不同解釋作出選擇。這意味著學生應該考慮信息來源的可信度，或者他們應該根據證據來判斷一個假設。這樣的思考方式要求思考者具備足夠的知識背景，以開放的思想運用演繹及歸納評估不同的假設，並推理到最佳解釋(Ennis, 2018)。Ivie (2001)從反思實踐的角度定義了批判思考，認為批判思考的目的在於從起始前提、相關事實，以及有保證的結論之間建立明確和邏輯的聯繫。Norris (1985)認為批判思考可以被定義為「理性地做出決定」，即依據標準評估自己與他人的觀點，並以可靠的觀察作出合理的推論。Barak與Dori (2009)提出批判思考屬於高層次認知能力，強調分析複雜事物以產生可靠的論據。綜上而論，批判思考要求學習者透過全面性的反思，周全顧慮複雜情境脈絡後作出審慎判斷，藉此解決問題。因此，培養批判思考能力可以幫助學生在不同情境脈絡下，以特定的方式從事思考活動(Ennis, 2011)。

潘志忠(2003)整理不同學者的觀點，認為批判思考能力主要包括五點要項：歸納、演繹、觀察、考察信息可信度、確認隱含的假設。「康乃爾批判思考測驗X級」(Cornell Critical Thinking Test, Level X [CCT-X])，則以「歸納」(induction)、「信息來源的可信度」(credibility)、「演繹」(deduction)、「辨識假設」(assumption identification)四項能力作成四個分量表：

(一)歸納：根據題目所提供的線索，判斷是否支持學說。

(二)信息來源的可信度：判斷題目所提供之不同說法的可信度。

(三)演繹：根據題目所提供的線索，作出演繹推理。

(四)辨識假設：根據題目所提供的文字敘述，辨識出陳述中所隱含的假設前提(Ennis & Millman, 1985)。

因此，本研究根據此量表作為評估學生批判思考能力的準則。

五、思考偏好的意涵

根據Dewey (1910)的觀點，思考最廣義的定義代表所謂「在腦中或心理閃過的所有事物」，其中包括偶然隨興的想法，例如：天馬行空的幻想、瑣碎的回憶，抑或片段的印象。思考也意味著信以為真的知識，即信念。有些信念在其理由尚未經過思索就被接受，有些信念則因理由經過檢驗而被接受。當信念的理由或根基經過謹慎探索、檢視它是否能充分支持信念時，這樣的思考過程就稱為反思。Dewey進而將反思的思考歷程分為五個步驟：(一)遇到問題。(二)指出及定義問題。(三)聯想到可能的解決方法。(四)經由推理而發展聯想的意義。(五)進一步的觀察與實驗。由於推理結果需要觀察及實驗證實，深思熟慮的觀察及實驗測試是反思歷程中不可或缺的要害(Rodgers, 2002)。

然而，並非所有的信念來源都是經由反思。Jardine與Silverthorne (2000)將獲得信念的主要錯誤來源進行分類，稱之為「偶像」。其中包括：

(一)種族(tribe)偶像：固有的傳統及生活環境中，未加思索便認為理所當然的事。

(二)市場(market-place)偶像：人云亦云的錯誤。

(三)洞穴(cave)偶像：私人成見。

(四)劇場(theater)偶像：盲目崇拜權威。

依照Jardine與Silverthorne說法，市場偶像型學生在思考時容易受到同儕的影響；劇場偶像型學生則容易信奉教科書權威或師長的教導。

整理上述不同學者的觀點，不難發現批判思考、科學探究，以及反思是三個具有重疊但涵義不同的術語。批判思考強調根據決策標準對不同解釋作出判斷，而非盲目地接受各種想法；科學探究則著重在設計及規劃實驗，運用證據支持主張或學說。批判思考及科學探究過程皆涵蓋反思的思考歷程。本研究所使用的CCT-X量表用於評估學生在一般領域(domain general)的批判思考能力，探究能力的評量指標(rubric)則用以瞭解學生在科學探究過程中的實驗及解釋能力。

六、批判思考的實徵研究

蔡俊彥與施文玲(2012)採用CCT-X作為批判思考能力的評量工具，以網路論證系統探討不同批判思考能力學生的科學論證歷程。研究結果發現批判思考能力越低的學生使用提示策略的次數越多，尤其在「主張」及「論據」兩種元素上，表明低批判思考能力學生在建構科學論點及科學推理過程較容易遇到困難。Cano與Martinez (1991)觀察農業教育學生的認知能力與批判思考能力之間的關聯性。其中，認知程度依照Bloom分類法(Krathwohl, 2002)進行分類，指的是學生回答特定問題所需的認知歷程；批判思考能力則被定義為回答問題時所需要的思維技巧。研究結果顯示，學生的認知能力與批判思考能力呈現顯著正相關。根據上述學者的觀點，研究者預測不同批判思考能力學生，由於建構論點的能力及推理能力不盡相同，在提出支持學說的理由依據時，其思考偏好會有所差異。另外，研究者亦預測批判思考能力高

的學生，其探究能力及對演化概念的認知程度亦較佳。

參、研究方法

一、研究參與者與實施程序

研究團隊分別在臺灣北部、中部、南部及離島的七所公立國中舉辦暑期科學營，一共招募209位國中七年級生。學生們在家長同意下，自願參與營隊。演化探究活動所花費的時間共約為3～4小時。探究活動開始前，學生完成了演化單元測驗及批判思考測驗。探究活動包含五個探究任務，學生在每個探究任務結束後，完成該任務的立即性評量。探究歷程中，學生運用Collaborative WISE (CWise)線上教學平臺的腦力激盪功能發表言論。探究活動結束後，學生進行演化單元測驗之後測。

研究者依照學生批判思考測驗的分數，將學生進行分組。批判思考測驗共71項單選題，每題1分，滿分為71分。根據測驗結果，學生表現情形的中位數為40分。因此，研究者將分數高於40分的學生歸類為高批判思考能力組；反之，分數為40分以下的學生則歸類為低批判思考能力組。歸類結果，高批判思考能力學生共計99位，低批判思考能力學生總數為110位。

二、教學設計模型

本研究使用教學設計模型(Hsu et al., 2015)開發演化單元的探究教材模組。課程設計架構如圖2所示，教學設計的步驟如下。

(一)決定學習目標

本研究的探究活動主題根據十二年國教課程綱要的國中演化單元(國家教育研究院，

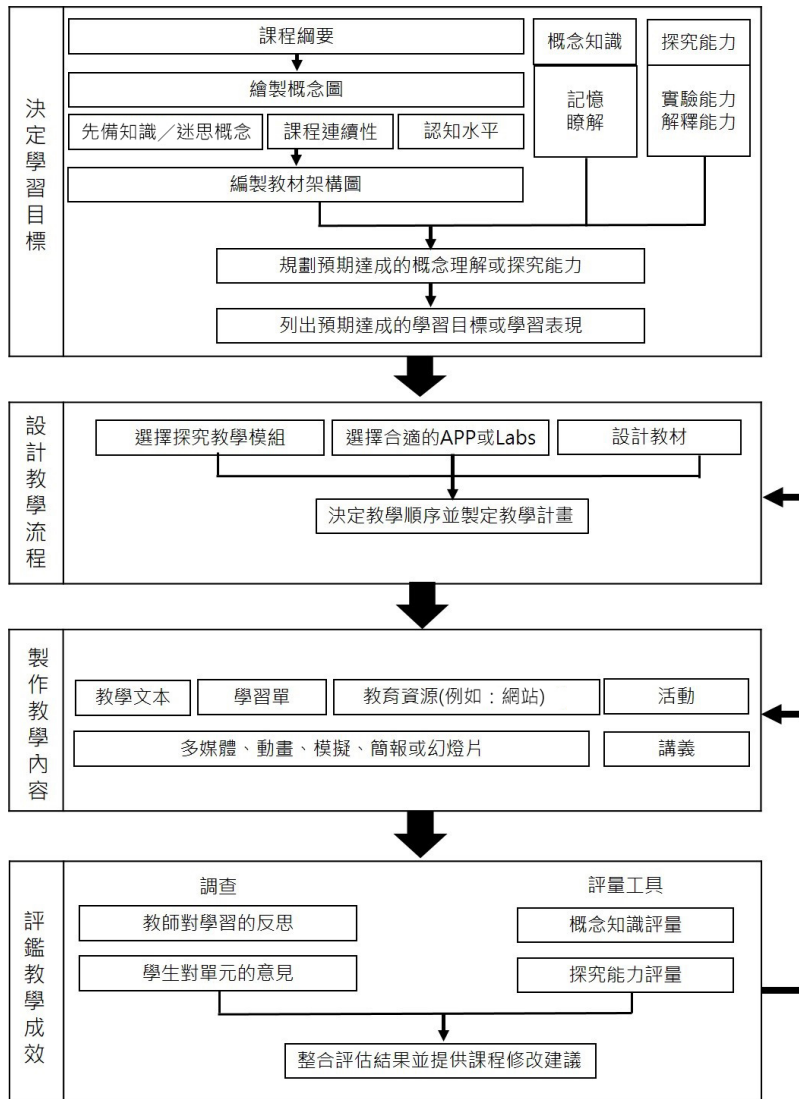


圖2：教學設計模型

資料來源：修改自“Developing Technology-Infused Inquiry Learning Modules to Promote Science Learning in Taiwan,” by Y.-S. Hsu, H.-Y. Chang, S.-C. Fang, & H.-K. Wu, in M. Khine (Ed.), *Science Education in East Asia* (p. 378), 2015, Cham, Switzerland: Springer.

2018)繪製成概念圖，以選擇適合學生認知水平的教學內容。學習目標包括探究能力及演化概念知識兩個項目。探究能力分成3個實驗能力(選擇變因、設計實驗、資料轉化)及4個解釋能力(形成主張、運用證據、產生推理、考慮另有解釋)(Hsu et al., 2015)。演化概念知識指的是學生對演化概念的認知程度，依照

Bloom分類法分為六個向度：記憶、瞭解、應用、分析、評鑑、創造(鄭蕙如、林世華，2004；Krathwohl, 2002)。

(二)設計教學流程並製作教學內容

研究者依據Pedaste等(2015)所提出的探究學習階段(圖1)依序設計探究任務及鷹架，

引導學生運用證據支持學說、協助其理解演化概念，並培養其探究能力。本教材模組採用CWISE線上探究學習平臺設計演化單元的探究活動。CWISE為中文版的WISE平臺，並擴展協作學習的功能(<http://cwise.nccu.edu.tw>)。研究者在教材模組中嵌入胡椒蛾虛擬實驗與天擇實驗室的應用程式，學生在其中操縱相關變量，以證據支持學說並提供科學解釋，逐漸建構科學知識(Bell et al., 2005)。本探究活動所設計的教材模組為國中七年級的生物單元「演化—地球的生命演變」，教材模組介面如圖3所示。探究活動依序分成下列五項探究任務：

1. 引導問題：藉由生活中的問題引起學生的學習動機，讓學生思考演化發生的可能機制與歷程。
2. 用進廢退說及天擇說：介紹拉馬克的用進廢退說及達爾文的天擇說，讓學生比較兩個演化學說的異同，藉此釐清演化迷思概念。
3. 實驗設計：介紹魏斯曼的老鼠尾巴實驗，讓學生認識實驗設計的流程，並使學生瞭解科學主張需要由實驗加以驗證，教材介面如圖3(a)所示。另外，研究者亦採用CWISE平

臺之腦力激盪功能，讓全班同學共同討論所支持的學說並提出理由，教材介面如圖3(b)所示。

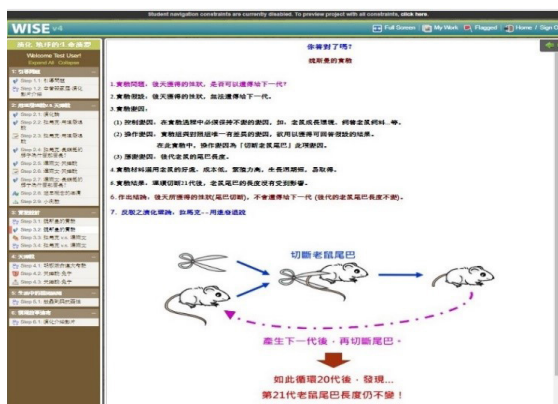
4. 虛擬實驗：結合網路資源，以胡椒蛾及天擇實驗室的虛擬遊戲讓學生更進一步瞭解天擇說之演化機制。
5. 生活中的相關新聞：藉由日常生活中相關新聞之介紹讓學生將科學概念實際應用在生活中，並學習撰寫科學報導。

(三)評估教學成效

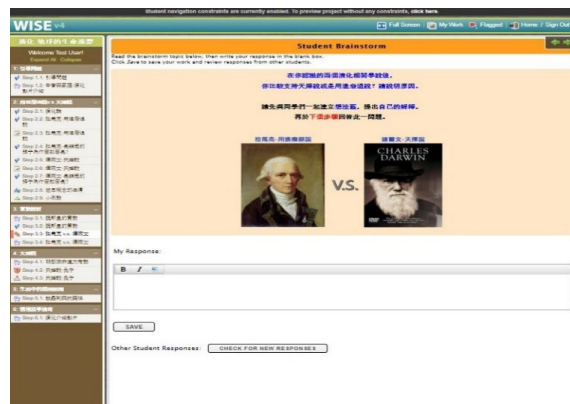
評估學生在探究能力及演化概念知識的學習成效，並調查師生對於教材模組的看法與意見，以改進課程單元。

三、研究工具

本研究以量化研究為主、質性研究為輔的研究方法評估學生的批判思考能力、探究能力、演化概念知識、思考偏好，以及網路探究活動的學習成效。本研究採用的量化研究工具包括：批判思考測驗、演化單元測驗，以及教材模組內嵌之立即性評量。質性資料則依據學生在腦力激盪中的發言內容進行編碼分析。



(a)探究活動



(b)腦力激盪

圖3：Collaborative Web-based Inquiry Science Environment (CWISE)教材模組介面

(一)批判思考測驗

本研究所採用的批判思考測驗，是由康乃爾大學研究團隊所編製的CCT-X，適用於國小五年級至高中十一年級的學生。CCT-X的Cronbach's α 值為.88，已由四位專家確認可信度(trustworthiness)，相關係數介於.87 ~ .91之間(Ennis & Millman, 1985)。CCT-X以豐富的故事情境創造有趣的學習環境，提供受試者獨立思考及作出判斷的空間，藉此測出學生的批判思考能力。評估的批判思考能力包括四個分量表：歸納、信息的可信度、演繹，以及辨識假設。測驗題數共71項選擇題，每題依照答案正確與否，得分為1或0分。本研究將CCT-X各分測驗之得分予以加總，代表學生的批判思考能力。

(二)立即性評量及演化單元測驗

教材模組內嵌之立即性評量，將學習歷程與評量歷程相結合，藉此瞭解學生在每個探究任務歷程的探究能力與演化概念知識。立即性評量由研究者開發，並邀請3位經驗豐富的中學生物教師及科學教育研究學者進行審查，以建立內容效度。根據審查結果在研究前進行修訂。學生在完成每項探究任務後，以嵌入性評量評估其學習表現。探究任務與學習表現對應表，如表2所示。評量題型包括：簡答題、配合題，以及選擇題。簡答題根據課程設計的學習目標，依照答案正確及完整性，製作出演化概念知識及探究能力的評量指標。可以提供正確答案且完整回答者，得分為2分；答案部分正確或解釋不夠完整者，得分為1分；答案不正確者，得分為

表2：探究任務與學習表現對應表

任務編號	題型	探究任務	學習表現(題數)	
			演化概念知識(16)	探究能力(12)
任務一	簡答題	透過觀察說明兩者外型與行為的不同處與理由。	記憶(2)	形成主張(1)
任務二	簡答題	以拉馬克的用進廢退說解釋長頸鹿脖子為什麼是長的。	瞭解(1)	產生推理(1)
	簡答題	以達爾文的天擇說解釋長頸鹿脖子為什麼是長的。	瞭解(1)	產生推理(1)
	簡答題	比較自己想法、用進廢退說、天擇說。	評鑑(1)	考慮另有解釋(1)
	配合題	辨別拉馬克的用進廢退說與達爾文的天擇說的異同之處。	瞭解(1)	
	配合題	辨別拉馬克的用進廢退說與達爾文的天擇說的異同之處。	瞭解(1)	
任務三	簡答題	說明魏斯曼實驗的問題與假設。	分析(1)	
	簡答題	說明魏斯曼實驗的變因。	分析(1)	選擇變因(1)
	簡答題	說明魏斯曼實驗的結論。	分析(1)	產生推理(1)
	簡答題	比較自己想法、用進廢退說、天擇說。	評鑑(1)	考慮另有解釋(1)
	簡答題	設計實驗證明演化學說，並選用適當的生物作為實驗材料。	創造(1)	設計實驗(1)
任務四	選擇題	根據胡椒蛾的虛擬實驗，瞭解天擇說。		運用證據(1)
	簡答題	根據胡椒蛾的虛擬實驗，瞭解天擇說(同上題)。	瞭解、分析(1)	產生推理(1)
	選擇題	根據虛擬實驗結果，判斷工業革命後，白色胡椒蛾的命運。	瞭解、分析(1)	
	選擇題	根據兔子的保護色概念，瞭解天擇說。	瞭解、分析(1)	
任務五	簡答題	解釋新聞內容，對家人說明抗藥性的作用機制。	應用、創造(1)	形成主張(1)
	簡答題	新聞科學寫作：寫昆蟲產生抗藥性的報導。	應用、創造(1)	形成主張(1)

0分。配合題依照答案正確程度，得分為2、1、0分。完全答對或答錯1個選項者，得分為2分；3～4個選項為正確配對者，得分為1分；2個選項以下為正確配對者，得分為0分。選擇題每題依照答案正確與否，得分為1或0分。總分為各項題目得分的加總。探究能力評量項目共計12項題目，其中包括11項簡答題及1項選擇題，滿分為23分。演化概念知識評量項目共計16項題目，其中包括13項簡答題、2項選擇題，以及1項配合題，滿分為30分。

演化單元測驗用於評估探究活動前後學生的探究能力、演化概念知識，以及兩者的學習成效提升程度。測驗內容與探究任務主題一致。演化單元測驗由經驗豐富的中學生物教師所開發，並邀請3位科學教育研究學者進行審查，以建立內容效度。根據審查結果在研究前進行修訂。測驗內容分成兩大部分：關鍵名詞解釋及觀念題。關鍵名詞解釋部分根據課程設計的學習目標，依照答案正確及完整性，製作出演化概念知識及探究能力的評量指標。可以提供正確且完整解釋者，得分為2分；答案部分正確或解釋不夠完整者，得分為1分；無法提供正確解釋者，得分為0分。各項觀念題皆由選擇題及簡答題組成。學生必須選擇正確答案，同時說明選取該答案的理由。所選擇的答案及理由正確者，得分為2分；所選擇的答案正確，但所提出的理由不夠完整者，得分為1分；所選擇的答案錯誤或理由不正確者，得分為0分。總分為各項題目得分的加總。探究能力評量項目共計11項觀念題，滿分為22分。演化概念知識評量項目共計22項題目，其中包括7項關鍵名詞解釋及15項觀念題，滿分為44分。

立即性評量及演化單元測驗皆由研究者根據探究能力及演化概念知識的評量架構製作

出評量指標，並邀請科學教育研究人員進行審查，藉此建立內容效度。研究者接著將學生作答結果歸類至評量指標，以建立評分標準。為了提升評分結果的可信度，研究者間隔兩週後再將學生作答結果重新歸類。將兩次歸類結果進行比對，倘若有不相符之處，兩週後進行第三次歸類，直到歸類完全為止。為了提升資料分析的信度，測驗結果在經由研究者進行評分後，抽取三分之一學生人數予另一位生物教師進行評分。檢核評分結果倘若發現有不一致性，兩人就差異的部分進行討論，直到對每個項目的評分結果達成共識。演化單元測驗及立即性評量各項題目由兩人評分後，以Spearman相關係數進行評分者間的信度評估，得相關係數介於.84～.92之間。

(三)腦力激盪

CWISE探究平臺上的腦力激盪功能允許全班學生共同探討一個研究問題，並發表自己的言論，如圖3(b)所示。在探究活動歷程中，研究者請學生先自行完成探究任務一、二，以及探究任務三的魏斯曼實驗。由於每位學生完成前項進度的時間不同，研究者請先完成上述探究任務的學生停留在腦力激盪步驟，待全班同學皆完成前項步驟後，再開始進行討論。在腦力激盪步驟中，全班同學一起討論支持或反對兩個演化學說的理由。學生可以發表自己的論點，並與同學進行相互辯駁。腦力激盪具備回應的功能，學生在表達自身想法後，其他同學可透過「回應」功能加以支持或反駁該學生所提出的想法。藉由同儕間的想法衝突，學生可以評估不同的解釋觀點。為了讓學生更明確地表達自己的想法，研究者引導學生提出支持學說的理由依據，例如：實驗證據、視覺化模型、電視、電影、每日的觀察、學校、老師、網路

資料……等。學生在發表言論時，研究者亦提供學生指導用語，鼓勵學生先提出自己支持的學說，再說明理由依據，例如：「我反對拉馬克的學說，我的想法是來自於每日的觀察，(觀察到的現象)……」。

四、資料分析

(一)質性資料分析

不同學生在面對科學議題時，其思考偏好多元。為了瞭解不同學生的思考偏好，本研究由本文第一作者檢視學生在腦力激盪的發表內容進行編碼，並製作表3之編碼表。根據學生支持學說的理由依據分類為：指出問題、生活觀察、實驗證據、學校教科

書、同儕、隨興發想、無具體理由，以及離題。爾後，研究者進一步參考Dewey (1910)對於「偶然隨興的想法」及「反思」的定義，將學生的思考偏好分類為：漫想型學生及反思型學生。漫想型學生在思考時傾向於提出自己天馬行空的隨興發想、無法提出支持學說的具體理由，抑或未能聚焦於討論主題上。反思型學生在提出支持學說的理由依據時，則會運用反思歷程的指出問題、觀察，抑或實驗。另外，研究者亦根據Jardine與Silverthorne (2000)對錯誤信念來源的觀點，增加偶像型學生的分類。這類學生容易信奉學校教科書權威，抑或人云亦云地相信同儕觀點。

表3：腦力激盪發言內容編碼表

思考偏好	編號	理由依據	定義	例子
反思型學生	1	指出問題	針對兩個學說，提出自己思考後的疑問。	除了這兩個演化學說外，還有沒有其他有關演化的學說？
	2	生活觀察	根據日常生活觀察所獲得的想法、主張。	不能走路的人長期沒有使用雙腳，但他們的下一代並沒有不能走路。來源於去醫院時看到坐輪椅的病人時想到的。
	3	實驗證據		
		理由充分	根據魏斯曼的老鼠尾巴實驗，支持自己的主張。	我比較支持天擇說。來源：魏斯曼的切鼠尾實驗。這個實驗推翻了用進廢退說，證明後天獲得的性狀不會遺傳。
		理由不充分	並未說明是經由何種實驗證明，或提出相關的實驗證據。	我比較支持天擇說，因為實驗證明後天的改變不會遺傳給後代。
偶像型學生	4	學校教科書		
		完整回答	背誦教科書上的內容，並未提及觀察或實驗。	我認為達爾文的天擇說比較有道理。因為個體差異、過度繁殖、生存競爭、適者生存。
		不完整回答	教科書上的迷思概念，或者僅說明想法來自教科書而未提出教科書內容。	我支持天擇說。各種動物為了適應環境或生存，就不斷的演化。就像短頸鹿演變成長頸鹿樣，為了食物而演變。
漫想型學生	5	同儕	支持同學的看法。	我反對拉馬克的學說，此想法是來自於某同學。
	6	隨興發想	天馬行空的想法。	我比較支持天擇說。因為我認為天地製造萬物，所以他也是能改造萬物的。並且適者生存。
	7	無具體理由	並未說明支持學說的理由，抑或理由不夠具體。	我認為天擇說比較合理。
	8	離題	沒有回答問題、談論跟上課主題無關的事情，抑或離題。	我覺得基因組合很有趣。

為了提升質性資料分析的可信度，研究者邀請一位曾經作過質性研究的科學教育研究者擔任協同編碼者。研究者與協同編碼者先抽取少量資料各自進行編碼，以釐清各個理由依據的定義及例子。倘若初步檢核發現有不一致性，研究者與協同編碼者間就差異的部分進行討論，直到兩人對每個項目的編碼結果達成共識(Erickson, 1986)。兩人編碼後以Spearman相關係數進行評分者間的信度評估，得相關係數.99 ($p < .001$)，達高度相關性。

(二)量化分析

為了評估學生在探究活動前後及探究活動歷程中的探究能力及演化概念知識，研究者分別在探究活動前後實施演化單元測驗，並於探究活動歷程中實施立即性評量。測驗結果之量化資料採用SPSS 23統計軟體進行統計分析。以獨立樣本 t 檢定瞭解不同批判思考能力學生在探究活動前中後的探究能力及演化概念知識差異，並以卡方檢定(交叉表)分析不同批判思考能力學生的思考偏好差異。另外，以Pearson相關分析瞭解學生探究能力及演化概念知識之間的關聯性。在學習成效上，以成對樣本 t 檢定個別檢驗高、低批判思考能力在探究活動前後的探究能力及演化概念知識差異，比較前測與後測的平均值、標準差，以及顯著性(p)。最後，以共變數分析比較兩組學習成效提升程度的差異。

肆、研究結果與討論

一、不同批判思考能力學生在探究活動歷程中的學習表現差異

研究者依照學生CCT-X的分數，將學生分成高、低批判思考能力兩個組別。根據學生在立即性評量測驗的分數，可以比較高、低批判思考能力學生在探究活動歷程中的學習表現情形。從表4得知，高批判思考能力學生的探究能力($t = -4.41, p < .001$)顯著優於低批判思考能力學生；同樣地，高批判思考能力學生的演化概念知識($t = -5.40, p < .001$)亦顯著優於低批判思考能力學生。由此可知，高批判思考能力學生在探究活動歷程中的學習表現較低批判思考能力學生為佳。

二、不同批判思考能力學生在探究活動歷程中的思考偏好差異

為了探討不同批判思考能力學生的思考偏好，研究者將學生在腦力激盪步驟中的發言內容進行質性編碼分析。根據學生提出支持學說的理由依據將學生分成8個類別：指出問題、生活觀察、實驗證據、教科書、同儕、隨興發想、無具體理由，以及離題，如表5所示。研究者進一步依照8個類別將學生的思考偏好歸類反思型學生、偶像型學生，以及漫想型學生。反思型學生在思考時傾向於運用反思歷程的指出問題、觀察，抑或實驗；偶像型學生則容易信奉教科書權威或人云亦云的同儕觀點。漫想型學生傾向於天馬行空的隨興發想、無法提出支持學說的具體

表4：高、低批判思考能力學生探究活動中學習表現差異獨立樣本 t 檢定摘要表

評量項目	低批判思考($n = 110$)		高批判思考($n = 99$)		t	p
	M	SD	M	SD		
探究能力	10.74	3.86	13.11	3.90	-4.41	< .001
演化概念知識	12.85	4.47	16.26	4.68	-5.40	< .001

表5：高、低批判思考能力學生腦力激盪發言內容分析表

類別	低批判思考	高批判思考
指出問題	1 (1%)	3 (3%)
生活觀察	11 (10%)	18 (18%)
實驗證據	11 (10%)	16 (16%)
教科書	23 (21%)	20 (20%)
同儕	1 (1%)	2 (2%)
隨興發想	8 (7%)	4 (4%)
無具體理由	13 (12%)	11 (11%)
離題	42 (38%)	25 (25%)

理由，抑或離題。研究者接著以卡方檢定(交叉表)進行統計分析。交叉表的資料顯示，低批判思考能力學生在三種思考偏好的比例分別為21、22、57%，高批判思考能力學生的比例則為37、22、40%，如表6所示。卡方檢定的統計結果則顯示兩個組別的思考偏好有顯著差異($\chi^2 = 7.93, p = .019$)，如表7所示。可見相較於低批判思考能力組別，高批判思考能力組別較多屬於反思型學生，較少屬於漫想型學生。

三、不同批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識之差異比較

根據學生在探究活動前後所完成的演化

表6：高、低批判思考能力學生思考偏好交叉表

組別	反思型學生	偶像型學生	漫想型學生
低批判思考	23 (21%)	24 (22%)	63 (57%)
高批判思考	37 (37%)	22 (22%)	40 (40%)

表7：高、低批判思考能力學生思考偏好卡方檢定表

分析項目	數值	自由度	漸近顯著性 (雙尾)
Pearson卡方	7.93 ^a	2	.019
概似比	7.98	2	.018
有效觀察的個數	209		

註：^a0單元(.08)預期計數小於5，預期的計數下限為12.79。

單元測驗作獨立樣本 t 檢定，可以比較高、低批判思考能力組別在探究活動前後探究能力及演化概念知識的差異。由表8得知，在探究活動前，高批判思考能力學生無論其探究能力($t = -5.12, p < .001$)或演化概念知識($t = -3.05, p = .003$)皆顯著優於低批判思考能力學生。同樣地，在探究活動後，高批判思考能力學生的探究能力($t = -4.39, p < .001$)及演化概念知識($t = -3.30, p = .001$)亦顯著優於低批判思考能力學生。由此可知，高批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識皆顯著優於低批判思考能力學生。

四、不同批判思考能力學生的學習成效

學習成效意味著學生在探究活動後其探究能力及演化概念知識的提升程度。為瞭解本探究教材模組是否有助於提升學生的探究能力及演化概念知識，研究者將學生在探究活動前後所完成的演化單元測驗作成對樣本 t 檢定。由表9得知，低批判思考能力學生在探究活動後，其探究能力($t = -4.55, p < .001$)及演化概念知識($t = -5.10, p < .001$)皆顯著提升。同樣地，高批判思考能力學生在探究活動後，其探究能力($t = -3.03, p < .001$)及演化概念知識($t = -4.86, p < .001$)亦顯著提升。由此可知，不同批判思考能力學生在使用本探究教材模組後皆有顯著的學習成效。研究者進一步將高、低批判思考能力的學習成效作共變數分析，藉此探討不同批判思考能力學生的學習成效提升程度是否有所差異。由表10得知，兩個組別無論在探究能力($p = .197$)抑或演化概念知識($p = .165$)上的學習成效提升程度皆無顯著差異。由此可知，本探究教材模組對於不同批判思考能力學生的學習成效提升程度差異不大。總結來說，此探究

表8：高、低批判思考能力學生探究活動前後探究能力及演化概念知識差異獨立樣本 t 檢定摘要表

評量項目	低批判思考 ($n = 110$)		高批判思考 ($n = 99$)		探究前 (低vs.高)		探究後 (低vs.高)	
	探究前	探究後	探究前	探究後	t	p	t	p
	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$	$M(SD)$				
探究能力	11.50 (4.86)	13.25 (4.77)	14.93 (4.80)	16.14 (4.76)	-5.12	< .001	-4.39	< .001
演化概念知識	11.34 (7.17)	13.44 (6.36)	14.25 (6.57)	16.23 (5.83)	-3.05	.003	-3.30	.001

表9：高、低批判思考能力學生探究活動前後測平均值成對樣本 t 檢定摘要表

組別	人數	評量項目	前測		後測		t	p
			M	SD	M	SD		
低批判思考	110	探究能力	11.50	4.86	13.25	4.78	-4.55	< .001
		演化概念知識	11.34	7.17	13.44	6.37	-5.10	< .001
高批判思考	99	探究能力	14.93	4.80	16.14	4.76	-3.03	< .001
		演化概念知識	14.25	6.57	16.23	5.83	-4.86	< .001

表10：高、低批判思考能力學生學習成效提升程度差異共變數分析摘要表

評量項目	變異來源	SS	df	MS	F	p	Partial η^2
探究能力	共變量(前測)	2,416.49	1	2,416.49	184.31	< .001	.47
	批判分組	21.98	1	21.98	1.68	.197	.01
	誤差	2,700.92	206	13.11			
	全體	5,139.38	208				
演化概念知識	共變量(前測)	5,321.56	1	5,321.56	389.58	< .001	.65
	批判分組	26.55	1	26.55	1.94	.165	.01
	誤差	2,813.93	206	13.66			
	全體	8,162.04	208				

教材模組同時適用於不同批判思考能力的學生。不僅有助於培養不同批判思考學生的探究能力，亦可促進其對於演化概念的認知。研究結果亦顯示，學生在探究能力提升的同時，也會加深其對演化概念的認知程度。

五、學生的探究能力與演化概念知識之相關性

為了探討學生探究能力與演化概念知識的關聯性，研究者以二變項做Pearson相關分析。由表11得知，無論在探究活動前($r = .677$, $p < .001$)、探究歷程中($r = .828$, $p < .001$)，抑

或探究活動結束後($r = .725$, $p < .001$)，學生的探究能力與演化概念知識相關性皆達顯著水準。由此可知，探究能力越高的學生其對演化概念的認知也越高。除此之外，當學生探究能力提升時，也會加深其對演化概念的認知。

表11：學生探究能力與演化概念知識之Pearson相關分析

分析項目	探究活動前	探究活動中	探究活動後
Pearson's r	.677	.828	.725
顯著性近似值	< .001	< .001	< .001

伍、結論與建議

一、結論

本研究運用CWISE設計演化探究活動，藉此瞭解不同批判思考能力學生的探究能力、演化概念知識，以及思考偏好。另外，本研究也比較高、低批判思考能力學生在探究活動後的學習成效提升程度。經由質性分析及量化統計結果顯示，不同批判思考能力學生的演化概念知識、探究能力，以及思考偏好有顯著差異。另外，不同批判思考能力學生在經歷此探究活動後，其探究能力及演化概念知識皆有顯著的提升。總結如下。

(一)不同批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識有顯著差異

以獨立樣本t檢定分析得知無論是在探究活動前、歷程中，抑或探究活動後，高批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識皆顯著優於低批判思考能力學生。由此可知，學生在科學探究過程中需要批判思考能力，且批判思考能力會影響其對科學概念的認知，符合相關學者過去的研究結果(Cano & Martinez, 1991; Duran & Dökme, 2016; Wartono et al., 2018; Weaver et al., 2016)。

(二)不同批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識有顯著差異

研究者將學生在腦力激盪的發言內容進行編碼分析，比較高、低批判思考能力學生的思考偏好。結果發現，高批判思考能力學生較多屬於反思型學生，即在思考時傾向於運用反思歷程的指出問題、觀察，抑或實驗。低批判思考能力學生較多屬於漫想型學生，即在思考時傾向於隨興發想、無具體理由依據，抑或離題。這表明批判思考能力高的學生在判斷事物時，會提出合理的懷疑，

而非不假思索全盤接受某一論點，符合Ennis (2011)的觀點。另外，高批判思考能力學生懂得以觀察或實驗獲得的證據支持科學概念，顯示其有較好的推理能力(Posner et al., 1982)。這也應證了蔡俊彥與施文玲(2012)的研究結果，即批判思考能力低的學生較不容易連結證據與主張。

(三)不同批判思考能力學生皆有顯著的學習成效

比較學生在演化單元測驗前後測的表現情形，可以發現高、低批判思考能力學生無論在探究能力抑或演化概念知識上的表現情形皆有顯著提升，可見探究教學不僅可以發展學生的探究能力，也能加深學生對科學概念的理解，與相關學者過去的研究結果相同(Abdi, 2014; Panasan & Nuangchalerm, 2010; Wu & Hsieh, 2006)。Minner等(2010)的研究亦表明，科學探究教學可促使學生積極主動參與學習過程，藉此提升對科學概念的理解。另外，本研究結果顯示兩個組別的學習成效提升程度無顯著差異，表明此CWISE演化教材模組同時適用於不同批判思考能力的學生。

(四)學生的探究能力與演化概念知識呈顯著正相關

以Pearson相關分析得知，無論在探究活動前、中、後，學生的探究能力與演化概念知識皆呈顯著正相關。這樣的研究結果表明學生的探究能力越高，對演化概念的認知程度也越佳。另外，學生的探究能力提升，也能加深其對演化概念的理解。可見培養學生的探究能力，有助於學生獲得對科學知識內容的理解，符合十二年國教的學習重點(國家教育研究院，2018)。

二、建議

(一)教學實踐的建議

本研究有別於傳統教學方式，以網路探究教學逐步引導學生完成探究任務所提供的研究問題。研究結果顯示，此探究活動有助於提升不同批判思考能力學生的探究能力及演化概念知識。由於國中生過去較少探究學習的經驗，研究者建議教師在演化教學上，可以依序帶領學生認識不同的演化學說，並介紹實驗設計流程，使學生瞭解科學學說需要經由實驗加以驗證。另外，本教材模組的設計較側重於發展學生探究過程中的解釋能力。建議未來教師可結合網路學習資源，協助學生實際操作虛擬實驗，並同步培養其實驗能力，藉此減輕學生在探究學習上可能面臨的挑戰。

(二)未來研究的建議

本研究發現網路探究活動對於國中生探究能力及演化概念知識皆有顯著助益。質性資料分析及量化統計結果顯示，不同批判思考能力學生的探究能力、演化概念知識，以及思考偏好皆有顯著差異。然而，本研究的研究對象為已修習過生物演化單元的國中七年級學生，研究者建議未來可將網路探究活動拓展至其他年齡層及科學科目單元，觀察是否有相似情形。根據本研究結果顯示批判思考能力與思考偏好有顯著關聯，過去的研究亦指出，教學設計中加入反思活動可以提升學生的批判思考能力(Baker, 1996; Erdogan, 2019)。因此，研究者預測訓練學生反思的思考習慣可以促進學生的批判思考能力、探究能力及對科學概念的認知，但仍有待未來更多相關研究加以證實。

參考文獻

1. 國家教育研究院(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。查詢日期：2019年8月11日，檢自<https://cirn.moe.edu.tw/Upload/file/27888/82352.pdf>。
2. 潘志忠(2003)。議題中心教學法對國小學生批判思考能力影響之實驗研究。花蓮師院學報（教育類），16，53-88。doi:10.7073/JNHTCA.200306.0053
3. 蔡俊彥、施文玲(2012)。以網路論證系統探究學生批判思考能力與論證歷程檔案之研究。全球商業經營管理學報，4，13-23。doi:10.29967/JGBOM.201209.0002
4. 鄭蕙如、林世華(2004)。Bloom認知領域教育目標分類修訂版理論與實務之探討——以九年一貫課程數學領域分段能力指標為例。臺東大學教育學報，15(2)，247-274。
5. Abdi, A. (2014). The effect of inquiry-based learning method on students' academic achievement in science course. *Universal Journal of Educational Research*, 2(1), 37-41.
6. Abraham, J. K., Meir, E., Perry, J., Herron, J. C., Maruca, S., & Stal, D. (2009). Addressing undergraduate student misconceptions about natural selection with an interactive simulated laboratory. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 393-404.
7. Baker, C. R. (1996). Reflective learning: A teaching strategy for critical thinking. *Journal of*

- Nursing Education*, 35(1), 19-22. doi:10.3928/0148-4834-19960101-06
8. Barak, M., & Dori, Y. J. (2009). Enhancing higher order thinking skills among inservice science teachers via embedded assessment. *Journal of Science Teacher Education*, 20(5), 459-474. doi:10.1007/s10972-009-9141-z
 9. Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30-33.
 10. Bodi, S. (1990). Teaching effectiveness and bibliographic instruction: The relevance of learning styles. *College & Research Libraries*, 51(2), 113-119.
 11. Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., et al. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. Colorado Springs, CO: Biological Sciences Curriculum Study.
 12. Cakir, M. (2008). Constructivist approaches to learning in science and their implications for science pedagogy: A literature review. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(4), 193-206.
 13. Cano, J., & Martinez, C. (1991). The relationship between cognitive performance and critical thinking abilities among selected agricultural education students. *Journal of Agricultural Education*, 32(1), 24-29.
 14. Chiu, J. L., & Linn, M. C. (2008). Self-assessment and self-explanation for learning chemistry using dynamic molecular visualizations. *ICLS'08: Proceedings of the 8th International Conference on International Conference for the Learning Sciences*, 3, 16-17.
 15. Chiu, J. L., & Linn, M. C. (2011). Knowledge integration and WISE engineering. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(1), 1-14. doi:10.7771/2157-9288.1026
 16. Dewey, J. (1910). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. Boston, MA: D. C. Heath.
 17. Duran, M., & Dökme, İ. (2016). The effect of the inquiry-based learning approach on student's critical-thinking skills. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(12), 2887-2908. doi:10.12973/eurasia.2016.02311a
 18. Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the Learning Sciences*, 8(3-4), 391-450. doi:10.1080/10508406.1999.9672075
 19. Ennis, R. H. (2011). Critical thinking: Reflection and perspective part II. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 26(2), 5-19. doi:10.5840/inquiryctnews201126215
 20. Ennis, R. H. (2018). Critical thinking across the curriculum: A vision. *Topoi*, 37, 165-184. doi:10.1007/s11245-016-9401-4

21. Ennis, R. H., & Millman, J. (1985). *Cornell critical thinking test, level X*. Pacific Grove, CA: Midwest Publications.
22. Erdogan, F. (2019). Effect of cooperative learning supported by reflective thinking activities on students' critical thinking skills. *Eurasian Journal of Educational Research*, 19(80), 89-112.
23. Erickson, F. (1986). Qualitative methods in research on teaching. In M. Wittrockk (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed., pp. 119-161). New York, NY: Macmillan.
24. Facione, P. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. Research findings and recommendations*. Retrieved August 19, 2019, from <https://philarchive.org/archive/FACCTA>
25. Felder, R. M. (1996). Matters of style. *ASEE Prism*, 6(4), 18-23.
26. Hsu, Y.-S., Chang, H.-Y., Fang, S.-C., & Wu, H.-K. (2015). Developing technology-infused inquiry learning modules to promote science learning in Taiwan. In M. Khine (Ed.), *Science education in East Asia* (pp. 373-403). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-16390-1_15
27. Hwang, G.-J., Chiu, L.-Y., & Chen, C.-H. (2015). A contextual game-based learning approach to improving students' inquiry-based learning performance in social studies courses. *Computers & Education*, 81, 13-25. doi:10.1016/j.compedu.2014.09.006
28. Ivie, S. D. (2001). Metaphor: A model for teaching critical thinking. *Contemporary Education*, 72(1), 18-22.
29. Jardine, L., & Silverthorne, M. (Eds.). (2000). *Francis Bacon: The new organon*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139164030
30. Kearsley, G. (2000). Chapter 6: Online teaching. In G. Kearsley (Ed.), *Online education: Learning and teaching in cyberspace* (pp.77-92). Belmont, CA: Wadsworth.
31. Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(9), 898-921. doi:10.1002/tea.10115
32. Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212-218. doi:10.1207/s15430421tip4104_2
33. Lawson, A. E., & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 733-746. doi:10.1002/tea.3660250904
34. Lim, B.-R. (2004). Challenges and issues in designing inquiry on the web. *British Journal of Educational Technology*, 35(5), 627-643. doi:10.1111/j.0007-1013.2004.00419.x
35. Matuk, C. F., Linn, M. C., & Eylon, B. S. (2015). Technology to support teachers using evidence from student work to customize technology-enhanced inquiry units. *Instructional*

- Science*, 43(2), 229-257. doi:10.1007/s11251-014-9338-1
36. Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. doi:10.1002/tea.20347
37. Moore, E. B., Chamberlain, J. M., Parson, R., & Perkins, K. K. (2014). PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191-1197. doi:10.1021/ed4005084
38. Mulnix, J. W. (2012). Thinking critically about critical thinking. *Educational Philosophy and Theory*, 44(5), 464-479.
39. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
40. Nehm, R. H., & Reilly, L. (2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, 57(3), 263-272. doi:10.1641/B570311
41. Norris, S. P. (1985). Synthesis of research on critical thinking. *Educational Leadership*, 42(8), 40-45.
42. Panasan, M., & Nuangchalerm, P. (2010). Learning outcomes of project-based and inquiry-based learning activities. *Journal of Social Sciences*, 6(2), 252-255. doi:10.3844/jssp.2010.252.255
43. Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., et al. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. doi:10.1016/j.edurev.2015.02.003
44. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227. doi:10.1002/sce.3730660207
45. Raes, A., & Schellens, T. (2015). Unraveling the motivational effects and challenges of web-based collaborative inquiry learning across different groups of learners. *Educational Technology Research and Development*, 63(3), 405-430. doi:10.1007/s11423-015-9381-x
46. Reiff, J. C. (1992). *Learning styles. What research says to the teacher series*. Washington, DC: National Education Association.
47. Rodgers, C. (2002). Defining reflection: Another look at John Dewey and reflective thinking. *Teachers College Record*, 104(4), 842-866.
48. Slotta, J. D. (2004). The Web-based Inquiry Science Environment (WISE): Scaffolding knowledge integration in the science classroom. In M. C. Linn, E. A. Davis, & P. Bell (Eds.), *Internet environments for science education* (pp. 203-232). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

49. Stender, A., Schwichow, M., Zimmerman, C., & Härtig, H. (2018). Making inquiry-based science learning visible: The influence of CVS and cognitive skills on content knowledge learning in guided inquiry. *International Journal of Science Education*, 40(15), 1812-1831. doi:10.1080/09500693.2018.1504346
50. Wartono, W., Hudha, M. N., & Batlolona, J. R. (2018). How are the physics critical thinking skills of the students taught by using inquiry-discovery through empirical and theorethical overview? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(2), 691-697. doi:10.12973/ejmste/80632
51. Weaver, M. G., Samoshin, A. V., Lewis, R. B., & Gainer, M. J. (2016). Developing students' critical thinking, problem solving, and analysis skills in an inquiry-based synthetic organic laboratory course. *Journal of Chemical Education*, 93(5), 847-851. doi:10.1021/acs.jchemed.5b00678
52. Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M., & Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of inquiry-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), 276-301. doi:10.1002/tea.20329
53. Woodin, T., Carter, V. C., & Fletcher, L. (2010). Vision and change in biology undergraduate education, a call for action—Initial responses. *CBE—Life Sciences Education*, 9(2), 71-73. doi:10.1187/cbe.10-03-0044
54. Wu, H.-K., & Hsieh, C.-E. (2006). Developing sixth graders' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1289-1313. doi:10.1080/09500690600621035

The Influence of Web-Based Inquiry Activity on Inquiry Ability and Evolution Conceptual Knowledge of Junior High School Students With High and Low Critical Thinking Skills

Hsin-Chueh Chen and Chun-Yen Chang*

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

This study aimed to explore the impact of a web-based inquiry activity on the inquiry ability and evolution conceptual knowledge of junior high school students who have high and low critical thinking skills. Collaborative Web-based Inquiry Science Environment (CWISE) evolution instructional model was used to analyze students' thinking preferences. The study consisted of 209 students from seven schools and incorporated qualitative and quantitative research methods during analysis of data. According to the students' level of critical thinking skills, the researchers divided the students into two groups. Results showed that students with higher critical thinking skills have better inquiry ability and higher cognitive level of evolution conceptual knowledge before, during, and after the inquiry activity. In addition, the students' inquiry ability was found to be significantly related to their cognitive level of evolution conceptual knowledge. CWISE evolution instructional model significantly improved the students' inquiry ability and evolution conceptual knowledge which means that this web-based inquiry teaching approach may be applicable in science classrooms with mixed-ability students. Researchers found that the students' thinking preferences among these two groups were in accordance with their responses in the brainstorming step in CWISE. Generally, there were more students in the higher critical thinking skills group classified in "The Reflective Type" than in the "The Unrealistic Type" compared with students in the lower critical thinking skills group. Finally, this study proposes suggestions for future web-based inquiry teaching practice and research related to science education.

Key words: Critical Thinking Skills, Inquiry Ability, Evolution Learning, Web-Based Inquiry Activity

* Corresponding author: Chun-Yen Chang, changcy@ntnu.edu.tw