

## 認知風格於預測、模擬、觀察、解釋科學探究活動表現之影響

### Learning Performance and Cognitive Style Effect Study on Scientific Prediction, Simulation, Observation and Explanation Inquiry-Based Learning Activity

黃若瑜<sup>\*</sup>，張立杰

中央大學 學習與教學研究所

<sup>\*</sup>traci9034@gmail.com

**【摘要】**科學教育中，探究式學習扮演重要的角色。基於科技對於探究式學習的潛力，研究者結合電腦模擬技術及 POE (Prediction-Observation-Explanation) 探究式學習模式，運用物理模擬平台 Algodoo 設計出相關之 PSOE (Prediction-Simulation-Observation-Explanation) 探究式學習活動。提供學習者一個可自行操作並調整變數及觀察的探究環境，以培養學習者科學探究精神。另探討在此 PSOE 探究式學習活動中，不同認知風格學生在各階段的表現及完成度。研究結果發現，在預測、模擬、觀察、解釋四個階段中，學生於解釋階段的表現較低，和其它階段表現有明顯的差異。此外，不同認知風格學生分組進行 PSOE 探究式學習活動時，發現混合組別各階段表現普遍都比場相依組及場獨立組之學生得分低，但是在解釋階段，場獨立組分數高於混合組及場相依組。

**【關鍵字】** 探究式學習；PSOE 模式；電腦模擬；認知風格

*Abstract: Inquiry-based learning plays an important role in science education, and technology has demonstrated its potential on enhancing inquiry-based learning performance. In this study, the researchers integrate simulation technology and POE (Prediction-Observation-Explanation) learning approach into a revised model named PSOE (Prediction-Simulation-Observation-Explanation). For the students to have a simulation environment, a physical simulation platform, Algodoo, is adopted, in which the students can explore and observe the simulation results by manipulating the variables. The results reveal that most of the students were weak in the Explanation stage. To explore the human factors affected learning performance, different cognitive style students (field-dependent and field-independent students) were employed. The results demonstrated that mixed groups had lower scores in each stage comparing to the field-dependent and field-independent groups. Interestingly, the field-independent groups had higher scores comparing to the mixed and field-dependent groups.*

**Keywords:** inquiry-based learning, PSOE model, simulation, cognitive style

## 1. 研究背景及動機

近年在科學教育中，探究式學習扮演了重要的角色 (AAAS, 1994; NRC, 1996)。探究是解決開放式問題的基礎，也是科學實踐的方法，對於自然科學而言，藉由科學實踐中產生問題並解決問題，是自然科學學習重要的策略 (Olde & Jong, 2004)。以往探究式學習的環境建置會遭遇許多挑戰，包括學生探索技巧不夠純熟影響探究結果，相關環境變數控制不易，及現實場域難以配合實際的探究活動等 (Edelson, Gordin, & Pea, 1999)。電腦和網路的興起提供了探究式學習一個新的機會。透過科技輔助探究式學習的進行，可以有效降低建置探究式學習情境的成本和變數，提供學習者一個相對穩定及易觀察的探究環境。

隨著科技的進步，電腦科學和科技輔助教學越來越受到各界關注 (Wang & Hannafin, 2005)。模擬是一種被廣泛使用於教學的輔助工具。所謂模擬式電腦輔助教學，即是利用電

Wu, Y.-T., Chang, M., Li, B., Chan, T.-W., Kong, S. C., Lin, H.-C.-K., Chu, H.-C., Jan, M., Lee, M.-H., Dong, Y., Tse, K. H., Wong, T. L., & Li, P. (Eds.). (2016). *Conference Proceedings of the 20th Global Chinese Conference on Computers in Education 2016*. Hong Kong: The Hong Kong Institute of Education.

腦進行模擬和展示情境以輔助教學進行。模擬可提供學生做中學的學習環境，利用電腦提供擬真的學習環境，透過認知衝突驅使學生探索並形成具體概念。電腦軟體模擬可提供學生一個安全的學習環境，觀察現實中不易觀察之現象與狀況，如能有效運用電腦模擬，對於科技輔助教學之成效將會有正面的提升。除了由教學者先行建置相關模擬環境外，現今也有許多可供學習者自行建置模擬實驗環境之模擬軟體，如提供物理現象模擬的軟體 PHET（取自：[https://phet.colorado.edu/zh\\_TW/about](https://phet.colorado.edu/zh_TW/about)）或是可自由建置物理模擬環境之軟體 Algodoo（取自：<http://www.algodoo.com/what-is-it/>），都提供學習者自行透過模擬情境學習科學概念的契機。

當學習者在接受與處理訊息時，會因彼此個體慣用的處理模式不同，而造成不同的結果。其中認知風格泛指的是學習者在學習時因訊息處理習慣不同所造成的差異性。認知風格是一種具有穩定性及恆常性的學習特質，而此特質往往會影響學習者的認知行為表現。過去的研究顯示，當人們身處符合自身學習風格的學習環境時，學習表現較佳、訊息吸收情形較好，若學習者處在與學習風格不相符的環境中學習，其表現的成果就會較差（Riding & Cheema, 1991）。在資訊來源多元化的狀態下，辨別不同認知風格的學生在探究活動其表現的差異性更顯重要，有助於研究者找尋更符合學習者認知風格之教學方式，以增進學習者之學習成效。

綜合上述幾點背景及動機，透過結合探究式學習精神及電腦模擬的技術，研究者運用公開在網路上的物理模擬軟體 Algodoo 平台，模擬出一系列可使學生自行操作並改變變數及觀察的實驗情境，以及設計出相關之 PSOE（預測、模擬、觀察、解釋）探究式學習活動，希望可以提供學生一個穩定之探究環境，以培養科學探究精神。另探討在此一 PSOE 探究式學習活動中，不同認知風格學生在各階段的表現及完成度。

## 2. 文獻探討

### 2.1. 探究式學習

探究式學習（Inquiry-Based Learning）是一種以學生為主體，給予學習者充分發表、討論與操作機會的學習方法。學習者在學習上扮演主動探究的角色。探究式學習法講求經由層層的分析與誘導，使學習者深入思考，加強其內在學習動機並獲取知識讓學習者藉由實際的參與，在探究問題的過程中學得解決問題的技巧（Windschitl, 2003）。探究式教學的教學方式沒有絕對的進行方式，而是隨著各科教材結構的不同，發展出不同的探究思考方式，建構屬於自己的知識模型。探究式學習提供了一個有意義的學習環境讓使用者獲取知識並提升科學概念。探究也可以促進學生對科學概念的理解，學習者在設計並進行探究活動時，會因發現探究內容與概念間的落差，並引發好奇心及動機，並使學習者要求自己成功的完成探究和調查，並將新發現的科學概念和其既有的知識作結合以構成答案（Lazonder, Wilhelm, & Hagemans, 2008）。在探究式學習中，學習者必須重新組織索引其所知曉的知識，強化現有知識並豐富與其它知識的連結。探究式學習與新科技的結合是有意義和具影響力的組合，不僅是學習科學上的知識，更驅使學生願意去探究其它的概念（Hong, Hwang, Liu, Ho & Chen, 2014）。

### 2.2. 認知風格

認知風格指的是學習者在學習時因訊息處理習慣不同所造成的差異性，這些差異性會導致學生在學習策略及方式上的不同。此概念最早由 Allport（1937）提出，他認為認知風格是學習者個人記憶、思考、解決問題等模式的習慣性，因每個人人格特質的不同及處事的差異，會造就學習者不同的認知風格。Messick（1976）也提出，認知風格是指個體在處理訊息和經驗時優先順序的差異性。根據過往研究發現，認知風格具有一致性且不易受到短期外在環境改變及其它變因影響，長期而言，認知風格雖可能有所改變，但其差異並不會太大，因此具有穩定性。因個人人格特質的變因複雜且多樣化，故認知風格涵蓋層面廣泛，分類並沒有

統一之標準，根據不同的研究面向，眾多研究者提供了許多不同認知風格分類方式。其中場獨立及場相依型分類由 Witkin 等研究者提出 (Witkin & Moore, 1977)。場獨立型學習者不易受到學習環境影響，其分析能力佳，可獨立建構知識。場相依型則較容易受到環境影響，喜歡經由外界引導和合作建構知識。Witkin 的場獨立場相依理論在研究上最為被廣泛運用及討論，故本研究也採此認知風格分類方式進行研究設計。

### 3. 研究設計

#### 3.1. PSOE 模式

結合探究式學習精神及電腦模擬的技術，本計畫擬運用公開在網路上的物理模擬軟體 Algodoo 平台，模擬出一系列可使學生自行操作並改變變數及觀察的實驗情境，以及設計出相關之 PSOE (預測、模擬、觀察、解釋) 探究式學習活動步驟，以提供學生一個穩定之探究環境，透過此一方式培養科學探究精神並藉此探討不同認知風格學生在進行 PSOE 探究式學習活動時各階段之學習表現。

自然科學的探究式學習過程中，注重學生的主動思考及探究能力。藉由實際體驗產生問題並解決問題，促進學生主動觀察、操作及思考的學習活動，提升學生的自主思考能力並培養自我學習能力。在結合電腦科技模擬技術及探究式學習的精神的前提下，研究者設計出相關之 PSOE (預測、模擬、觀察、解釋) 探究式學習活動。在此類 PSOE 探究式學習活動中，皆由學習者主導學習的進行，教學者不主動進行教學，僅提供學習者在遭遇困難時回答學習者提問。所謂 PSOE 探究式學習的流程共有下列幾個步驟：包括選定主題、研讀教材、預測、模擬、觀察以及解釋。各步驟流程及相關說明詳述如下 (圖 1)：

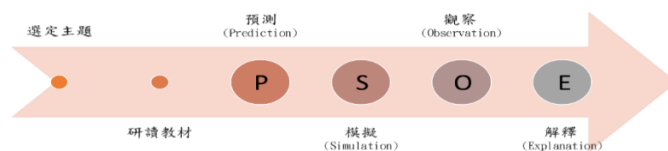


圖 1 PSOE 探究式學習活動流程圖

##### (1) 選定主題：

在 PSOE 探究式學習活動開始前，教學者需選定此次探究活動之主題以及擬定教學目標。文獻指出，在進行探究式學習時如學習者背景知識不足，有可能因此無法透過觀察到活動中的關鍵現象，以至於迷惑或無法產生正確結論。因此確認主題後，學習者需著手準備相關背景知識教材進行背景知識的回顧或學習。

##### (2) 研讀教材：

學習者需要跟據教學者的引導進行背景知識的回顧及提點，教材內容以探究式活動中所需之基礎知識為主。目的在於促進學習者在接續的探究式學習活動中，可以順利的觀察現象，不至於因為缺乏背景知識造成探究活動進行時有困難。

##### (3) 預測 (Prediction)：

進入探究式學習活動主體後，學習者首先依據學習單的引導，進行實驗結果的預測並填寫如此預測的原因。填寫原因可協助學習者紀錄自己的思考歷程，並避免學習者預測時是無意義的猜測，促進學生思考。

##### (4) 模擬 (Simulation)：

接著學習者需進行模擬實驗環境的設計，模擬實驗環境之設計並沒有制式的規範，只要能順利建置出可以觀察並解釋實驗問題的模擬實驗環境，都是屬於有效的設計。在學習單上，學習者需寫出如此設計的原因，並解釋此設計為什麼可以釐清實驗問題，並預估在模擬實驗中可能會碰到的困難。

#### (5) 觀察 (Observation) :

學習者建置完探究環境後進行模擬。在模擬過程中，學習者藉由調整各變因參數，進而比較不同參數間的變化。在改變參數後的模擬過程中，學習者需進行現象的觀察及記錄。

#### (6) 解釋 (Explanation) :

最終階段，學習者需將開始時所做的預測及模擬紀錄做比較，比較兩者是否一致。如果學習者的預測與模擬結果不一致，學習者需要跟據此不一致提出自己的想法及解釋。

PSOE 探究式學習活動之特點可利用模擬提供學生擬真的學習環境，觀察現實狀況中不易看到的現象，也可以個別檢視環境中的各種因素造成的影響。學生也可以藉由不同參數的調整，產生不同的結果，重複進行模擬比較，以釐清科學概念。在使用 PSOE 探究式學習環境時，學生需為解決情境深入預測、模擬、觀察、解釋，並且將科學概念與現實生活做連結以進行模擬及探究。在這樣的學習方式中，學習者用自己的方式建構知識，並演繹成屬於自己的知識概念。

### 3.2. 支持模擬的軟體：Algodoo

Algodoo 為一 2D 物理模擬軟體，共提供 Widows、Mac 及 iPad 三種版本。Algodoo 提供一個自由的模擬環境，在 Algodoo 軟體中，使用者可使用矩形、圓形、多邊形、齒輪、繩索、自由繪圖等編輯工具建置場景，也可使用內建的匯入功能匯入較複雜的元件進行編輯。在 Algodoo 的環境中，鼓勵不同年齡層的學習者透過自身的創造力、能力和動機進行具有樂趣的知識建構 (取自 <http://www.algodoo.com/what-is-it/>)。使用者可以任意的繪製物件及場景，繪製出來的物件受到物理特性的影響，包括在真實環境的物理特性，如重力、阻力、摩擦係數、密度、折射率、力量.....等等。且這些物理性質也都可以任意開啟或關閉，使用者也可以輕易的改變模擬環境中的各項變數反覆進行模擬及觀察。

## 4. 實施與評估

### 4.1. 研究對象及課程內容

本次參與實驗之對象為桃園縣某國中九年級學生一班，男生 10 人女生 11 人共計 21 人。此次 PSOE 探究式學習活動中探究主題為國中自然科學第四冊壓力與浮力單元。分為三大部分，包括聯通管原理、帕斯卡原理及浮力原理。此三個部分的學習單引導各自皆有遵循 PSOE 探究式學習活動之步驟，探究難度則是逐步加深。

### 4.2. 介入工具

#### 4.2.1. 團體藏圖測驗

本研究使用吳裕益於 1987 年翻譯改編之團體藏圖測驗卷進行認知風格分類，原始測驗卷為 Witkin、Oltman、Paskin、Karpy 所編製 (1971)。在此測驗中，受測者須從作答區圖中找出指定圖形並圈選答案，根據測驗分數高低來區分受試者的認知風格。分數較高者為場獨立型 (Field Independent, FI) 分數較低者為場相依型 (Field Dependent, FD)。此份測驗卷之信度採用折半信度的斯布公式得出信度為.82 (吳裕益, 1987)。效度部分本測驗卷與 EFT (Embedded Figures Test) 的相關為-.82，與 PRFT (Portable RFT) 的相關為-.39，其數值為負是因計分方式相反。與 ABC (Degree of Body Articulation) 的相關為.71。其信效度已達研究所需標準，故本研究採原始量表使用。

#### 4.2.2. PSOE 探究式學習活動評分架構表

針對學生在 PSOE 探究式學習活動中各階段的表現，研究者使用 PSOE 探究式學習活動評分架構表進行評分和比較。本評分架構表參考 McNeill、Lizotte 與 Krajcik (2006) 所編制之科學解釋評分表以及黃贊樺 (2011) 編撰之科學解釋評分架構表進行編製。根據此 PSOE 探究式學習活動評分架構表對每一小組學習單作答狀況進行評分及分析，以了解不同類型學生

在進行探究式學習活動各階段之表現。此評分表中分為四個階段，每階段滿分皆為 10 分，總分為 40 分，各項目評分標準如下表所示（表 1）：

表 28 預測、模擬、觀察、解釋之探究學習活動各階段評分架構表

階段	項目	作答狀況	得分	
預測 (10 分)	預測 勾選	無作答	0 分	
		完成預測勾選但無填寫預測原因或內容錯誤或不完整	2 分	
		完成預測勾選並寫出預測原因，且大致完整寫出預測原因	4 分	
	實驗 設計	未完成實驗設計	0 分	
		完成實驗設計，未填寫設計的原因或有填寫設計原因，但敘述不完整、文不對題或錯誤	2 分	
		完成實驗設計，有填寫設計原因，敘述大致完整正確	4 分	
	困難 預測	無預估實驗可能遭遇的困難	0 分	
		有預估實驗可能遭遇的困難	2 分	
	模擬 (10 分)	建置 環境	無法根據實驗設計建置出模擬環境	0 分
			可根據實驗設計建置出模擬環境但無法順利操作實驗	2 分
可根據實驗設計建置出可行之模擬環境			4 分	
模擬 內容		無作答	0 分	
	模擬時能回答改變及控制的變數，但無說明想這樣改變的原因	2 分		
	模擬時能回答改變及控制的變數且進行說明，但說明敘述不完整或錯誤。	4 分		
		模擬時能回答改變及控制的變數並大致完整說明想這樣改變的原因。	6 分	
觀察 (10 分)	完成 次數	無完成任何一次模擬觀察	0 分	
		完成第一次模擬觀察	2 分	
		完成第二次模擬觀察	4 分	
		完成所有模擬觀察	6 分	
	結果 紀錄	無紀錄觀察到的模擬結果	0 分	
		有觀察並紀錄模擬結果但無描述現象變化	2 分	
		有觀察並紀錄模擬結果且有描述現象變化	4 分	
解釋 (10 分)	結果 解釋	無作答	0 分	
		完成比較及勾選答案且有解釋差異之原因，但未解釋原因或解釋不完整、不正確	5 分	
		完成比較及勾選答案且有解釋差異之原因，且解釋大致完整正確	10 分	

#### 4.3. 實驗流程

在此次實驗中共進行三次課程，第一堂及第二堂課進行 90 分鐘，第三堂課 45 分鐘，共計 225 分鐘，三堂課程中皆間隔一天（圖 2）。

第一次課堂會進行團體藏圖測驗卷之施測，施測完畢後進行物理模擬軟體 Algodoo 之操作教學，針對 Algodoo 介面中各項工具的設定做介紹，並給予學生小型任務（例如：表現出不同材質之同體積物體在水中的浮沉現象）以了解學生對於操作之熟悉度，並確認學生可以熟練的操作該軟體。團體藏圖測驗部分，扣除作答無效之測驗卷，共有 17 名學生完成團體藏圖測驗。根據其測驗成績平均數進行認知風格區分，高於平均數者歸類為場獨立型，低於平均數者歸類為場相依型，依此區分學生之認知風格，場獨立型 8 人，場相依型 9 人。研究者根據學生之認知風格將學生兩人一組分組，每組學生組成皆不同。認知風格組別分為三種類型，包括：場獨立組、混合組、場相依組。根據這些分類將學生分組，共計分為 8 組，因學生數量為奇數，故有一組為三個學生一組。

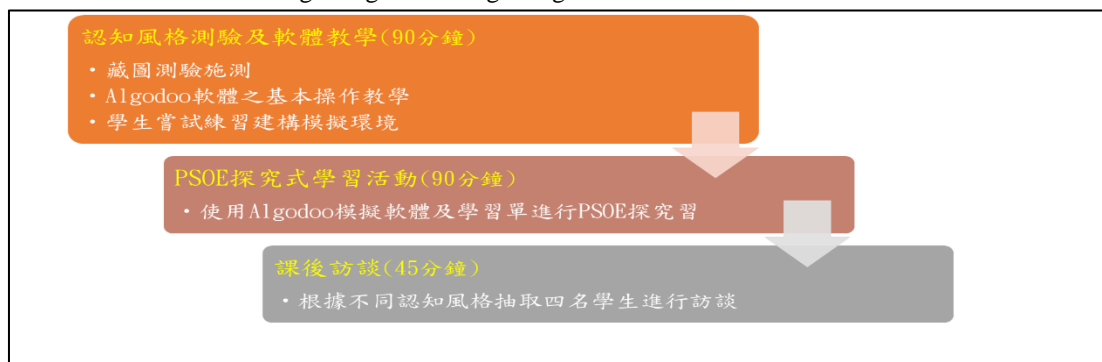


圖 1 課堂流程圖

第二次課堂學生根據研究者的分組進行 PSOE 探究式學習活動，共同使用物理模擬軟體 Algodoo 輔助探究式學習進行。在進行探究式學習時，學生須根據學習單指引自行完成實驗環境的建置及記錄實驗過程。教師在課堂中僅提供學生提問，不主動進行教學。課堂結束後，研究者根據學生之學習單紀錄以及其製作的檔案進行評估與分析，以了解不同組成類型學生在進行探究式學習活動之完成度。

第三次課堂中根據不同認知風格類型之學生挑出四名學生進行訪談。訪談以半結構式訪談為主，訪談內容包括以模擬軟體進行探究式教學的感想及學習中遭遇到的困難的部分。訪談過程以錄音紀錄，用於輔佐量化分析結果，以及了解學生在進行 PSOE 探究式學習時的學習情形。

## 5. 研究結果

### 5.1. PSOE 探究式學習活動學生之完成度表現

在本次實驗中，研究者根據每一小組學習單作答狀況進行評分及分析，以了解不同類型學生在進行探究式學習活動之完成度。在評分項目部分，此學習單共有三大部分，每部分皆包含四個階段：預測、模擬、觀察、解釋。每個階段滿分各為 10 分，三大學習活動則分別為聯通管原理、帕斯卡原理及浮力原理。三個部分的學習單引導各自皆有遵循 PSOE 探究式學習活動之步驟，探究難度則是逐步加深。各活動評估滿分為 40 分，整張學習單完成度滿分為 120 分。此各組在三個不同難度的探究中得分分別如下（圖 3）：

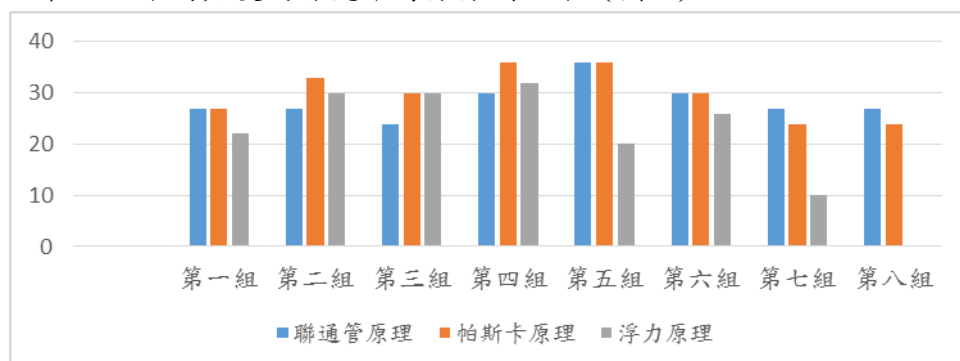


圖 2 PSOE 探究式學習活動中三部份各組得分

由此可以觀察到，在聯通管原理及帕斯卡原理部分，各組在這兩個部分之得分表現差距不大，但在第三個浮力原理部分各組之得分皆比前兩部分低，甚至有組別產生完全沒有得分的狀況。推測因在聯通管原理及帕斯卡原理的理論難度較浮力原理簡單，因此在操作上也較容易順利進行實驗模擬，而在浮力原理部分，對學生而言，需建置整個模擬實驗環境並進行操作是較為困難的。

接著研究者比較各組在進行 PSOE 探究式學習活動時，在預測、模擬、觀察、解釋各階段之表現，各組在 PSOE 探究式學習活動各階段平均完成度得分如下（表 2）：

表 2 各小組進行 PSOE 探究式學習活動各階段平均完成度得分

組別	一	二	三	四	五	六	七	八	平均
預測階段得分	22	24	26	26	24	24	24	16	23.3
模擬階段得分	28	30	30	28	26	30	20	20	26.5
觀察階段得分	30	28	30	30	28	28	20	20	26.8
解釋階段得分	15	15	15	20	25	15	10	5	15.0
加總得分	95	97	101	104	103	97	74	61	91.5

由以上列表可發現，在各階段活動表現部分，在預測、模擬、觀察階段各組得分皆可超過 20 分，代表在這三個階段，各組皆可以大致掌握 PSOE 探究式學習活動中所需之技能。唯獨在解釋階段，各組的表現皆與前三個階段有落差，甚至有組別有無法順利作答而留白的狀況。

## 5.2. 不同認知風格學生進行 PSOE 探究式學習活動時之表現

在不同認知風格學生分組進行 PSOE 探究式學習活動時之表現方面可以發現混合組別之各階段表現普遍都比場相依組及場獨立組知學生得分低。唯獨在解釋階段，場獨立組別之得分相較於混合組及場相依組高（圖 4）。

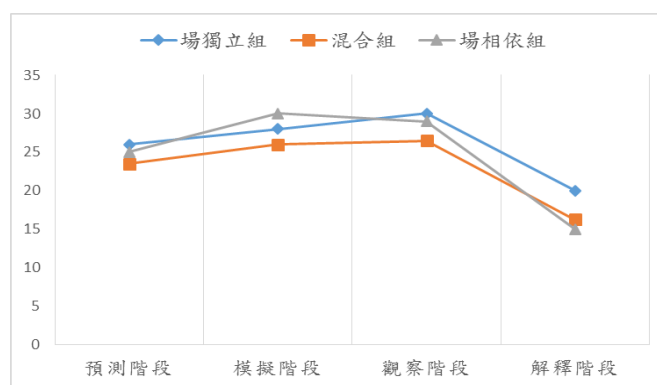


圖 4 不同認知風格學生分組進行 PSOE 探究式學習活動時之表現

## 6. 結論及未來研究方向

根據此次實驗結果，可發現學生普遍在解釋階段較為弱，和其它階段之表現有明顯的差異。根據訪談紀錄中顯示，學生普遍認為在 PSOE 探究式學習活動中，解釋階段是最為困難的，此與評分表評分結果一致。有學生認為發生困難的點在於雖然知道為什麼所觀察到的實驗會有這樣的結果，卻不知道如何確實使用文字描述出來。檢視學生之作答結果也亦有發現此現象，推測學生在課堂中較少有機會闡述自身的想法，導致學生會懼怕作答的內容是否有誤或是不夠精確而造成遲疑。

所有學生皆可完成兩項較簡單的 PSOE 探究式學習活動，但有少數學生在需要自己建置實驗環境時無法順利完成 PSOE 探究式學習活動。推測除了能力上的落差之外，學生對於 Algodoo 系統編輯方式不夠熟稔也是造成模擬實驗場景建置受阻礙的原因。另外，在使用 Algodoo 系統進行 PSOE 探究式學習時，實驗過程中受試學生的反應熱烈良好，學生表示此有助於其更加記得實驗所運用的科學原理。訪談中學生普遍對於使用 Algodoo 系統進行 PSOE 探究式學習活動表示有趣，也樂意再度使用此系統進行探究式學習。

在不同認知風格學生分組進行 PSOE 探究式學習活動的表現方面，可以發現混合組別之各階段表現普遍都比場相依組及場獨立組的學生得分低。但是在解釋階段，場獨立組別之得分相較於混合組及場相依組高。

未來研究工作，研究者預計將軟體教學時間拉長，確保學生可以更熟練地使用 Algodoo 軟體進行 PSOE 探究式學習活動。此外，將擴大學生參與人數，增加探究式學習介入課堂的時間，並透過認知風格及先備知識個別分析每個學生在 PSOE 探究式學習活動時的表現，以及

Wu, Y.-T., Chang, M., Li, B., Chan, T.-W., Kong, S. C., Lin, H.-C.-K., Chu, H.-C., Jan, M., Lee, M.-H., Dong, Y., Tse, K. H., Wong, T. L., & Li, P. (Eds.). (2016). *Conference Proceedings of the 20th Global Chinese Conference on Computers in Education 2016*. Hong Kong: The Hong Kong Institute of Education.

對學生科學態度之影響。以期此類型的 PSOE 探究式學習活動可更有效輔助學生進行探究式學習並提升學生之科學態度。

## 參考文獻

- 吳裕益 (1987)。認知能力與認知型態個別差異現象之探討。《教育學刊》，3(7)，253-300。
- 黃贊樺 (2011)。探討科學解釋文字鷹架融合 POE 策略對概念改變與科學解釋能力影響之研究-以光學單元為例。未出版之碩士論文，國立交通大學理學院科技與數位學習學程，新竹。
- Allport, G. G. (1937). *Personality: A psychological interpretation*. New York: Holt.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1994). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- 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.
- Hong, J. C., Hwang, M. Y., Liu, M. C., Ho, H. Y., & Chen, Y. L. (2014). Using a “prediction–observation–explanation” inquiry model to enhance student interest and intention to continue science learning predicted by their Internet cognitive failure. *Computers & Education*, 72, 110-120.
- Lazonder, A. W., Wilhelm, P., & Hagemans, M. G. (2008). The influence of domain knowledge on strategy use during simulation-based inquiry learning. *Learning and Instruction*, 18(6), 580–592.
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- Messick, S. (1976). Personality consistencies in cognition and creativity. In S. Messick (Ed.), *Individuality in Learning*. San Francisco: Josey-Bass. 4-33.
- National Research Council (NRC). (1996). *National science education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Olde, C. V. D., & Jong, T. D. (2004). Student-generated assignments about electrical circuits in a computer simulation. *International Journal of Science Education*, 26(7), 859-873.
- Riding, R., & Cheema, I. (1991). Cognitive styles—an overview and integration. *Educational psychology*, 11(3-4), 193-215.
- Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.
- Witkin, H.A., Moore, C.A., Goodenough, D.R. & Cox, P.W. (1977). Field-dependent and field-independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, 47(1), 1-64.