

培育師資生使用 PO+E 教學法研發國小奈米科技教案與教學

盧秀琴

國立臺北教育大學自然科學教育學系 教授

黃奕升

新北市淡水國小 教師

中文摘要

因應十二年國教「探究與實作」的教學，本研究培育某國立教育大學修習「國小自然科教材教法」課程的 24 位師資生，以 PO+E 教學法研發國小奈米科技教案，並進行微型教學與國小試教。本研究採用 PO+E 教學法設計教案評量（APD）來評量師資生所設計的教案，採用 PO+E 微型教學評量（MTAP）來評量師資生的微型教學與國小試教。研究結果顯示：一、師資生能應用「科學與科技」課程所學得的奈米科技內容，成功轉換成為國小奈米科技的教案。二、師資生能應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的微型教學和國小試教，建議師資生「預測」時不要解釋太多內容，引導「科學解釋能力」要使用學童聽得懂的語句。三、建議讓師資生先觀摩資深教師使用 PO+E 教學法與師生互動，則學習效果會更好。

關鍵字：PO+E 教學法、科學解釋能力、國小奈米科技教案、國小師資生、

教師專業成長

壹、緒論

一、研究背景與重要性

因應教育部十二年國教政策的推動，將「自然科學探究與實作」列為自然領域的主要教學模式，設計教案時需要呼應「探究與實作」的精神（教育部，2019）。目前，國小自然領域的實驗課程仍以食譜式教學為主，學生根據教科書做完實驗並記錄於習作中，比較不符合「探究與實作」的精神。十二年國教的實施，希望國小學生從參與「探究與實作」中，轉而對科學現象產生好奇心，樂於與他人合作、溝通與分享（楊秀婷、王國華，2007）。最近幾年「預測（Prediction）觀察（Observation）解釋（Explanation），POE」教學法逐漸盛行於實驗課程中，但也發現一些教學現場的問題，許良榮與羅佩娟（2009）使用 POE 教學法，發現學生的解釋常混淆科學名詞的意義與作用，提出的解釋經常流於片段、缺乏邏輯關連性。林燕文與洪振方（2007）發現學生提出的科學解釋經常是矛盾、缺乏科學理論，主張與證據之間的關聯不足。因應學生對於科學解釋的不足，盧秀琴（2018）提出「預測－觀察－科學解釋能力 Prediction-Observation-more Explanation，(PO+E)」教學法，加強 POE 教學法的科學解釋能力，將解釋改成科學解釋能力 (+E)，包括：實驗過程、實驗結果、科學原理或證據、對該實驗下結論、尋找例外、提出主張等六個項度，以提升學生的科學解釋能力；加強學生做完實驗時，能回顧是怎麼做實驗，並根據實驗結果尋找科學原理或科學證據，最後提出自己的主張，這將更符合「探究與實作」的精神。盧秀琴與谷冰（2019）比較不同背景的研究生如何設計 PO+E 教學法的實驗與微型教學，發現兩組的研究生在實驗設計與科學解釋能力都有明顯的進步，但尋找符合 PO+E 實驗的教材則需要再加強。

美國新世代科學標準（the Next Generation Science Standards, NGSS, 2013）公告提昇學生的大學與職業準備度（college and career readiness），應包含「學科核心概念、科學與工程實務、跨領域概念」三個面向；故培育國小科學師資生想要符應十二年國教跨領域概念的改革，可將師資生在大學所學習的知識內涵轉換於國小自然領域的課程設計；科技部（2015）說明科學與科技應充分配合與開發，才能展望未來、提升競爭力；高等科學教育應具有國際競爭力的尖端科技研發能力或課程設計的能力。本研究的國小師資生已經修習過奈米科技課程，藉此以「自然科教材教法」來培育他們，將他們習得的奈米科技知識轉化為國小學生能接受的教案設計與教學，能培養國小學生的奈米科技科學素養。十二年國教的科學師資培育應著重於科學本質、科學探究過程以及科學教學的專業實務；陳均伊（2010）認為教師專業成長應引導個案教師閱讀文獻與討論，規劃科學探究活動以扮演學習者的角色，再將探究式教學融入科學課程中實施，最後進行教學觀摩，針對教學現況給予適切的建議，才能達到實質的成效（National Research Council, [NRC] 2000）。本研究培育國小師資生，例用焦點團體法討論奈米科技可應用的相關文獻，使用 PO+E 教學法研發奈米科技教案，進行微型教學與國小試教，逐一修正所發現的缺點，探討科學教師專業成長之學習歷程。

二、研究目的

本研究因應十二年國教政策的推動，強調跨領域概念和「探究與實作」，培育國小師資生使用 PO+E 教學法研發奈米科技教案與教學，探討國小師資生的教師專業成長。因此，本研究探討問題有：(一) 國小師資生如何應用 PO+E 教學法設計國小奈米科技的教案？(二) 國小師資生如何應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的微型教學？(三) 國小師資生如何應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的國小試教？

貳、文獻探討

一、PO+E 教學法的發展與實徵研究

White 與 Gunstone (1992) 提出 POE 教學法，自然科實驗先由教師鋪陳情境引導學生預測實驗的結果，再讓學生說明如此預測的理由；接著教師引導實驗操作、觀察及記錄，最後針對實驗結果進行解釋；學生可能發現預測結果與實驗結果不同而產生認知衝突，教師將協助學生來修正認知衝突。盧秀琴與徐于婷 (2016) 培育國小師資生使用 POE 教學法在國小試教，發現國小學生的科學解釋是不足的，學生使用科學詞彙僅著重於表面科學概念的意義，容易造成相似概念誤用的情形。McNeill、Lizotte、Krajcik 與 Marx (2006) 使用 POE 教學法教學，發現多數學生仍以自身的生活經驗去解釋現象，並非使用科學概念或證據來佐證，無法將觀察現象與所學過的科學概念做連結。因為科學教育強調論證能力 (Toulmin, 1958)，學者認為利用 POE 教學法進行論證教學，能提升學生提出的證據內涵及論證品質 (Osborne, Erduran, & Simon, 2004)；但要提升論證能力需要在 POE 教學中加強學童的科學解釋能力，逐一訓練方能達成目標 (Lu, 2016)。盧秀琴 (2018) 提出 PO+E 教學法，把 POE 的「解釋」修改成「科學解釋能力，+E」，增加成為六格的寫法：「1. 實驗過程－目的是讓學生回顧自己怎麼作實驗；2. 實驗結果－目的是讓學生將實驗結果去比對當初的預測是否正確；3. 科學原理－目的是讓學生尋找能支持此實驗結果的科學原理；4. 對該實驗下結論－目的是讓學生能根據科學原理來下結論；5. 尋找例外－目的是讓學生了解結論不是通論，可能有些例外的情形；6. 提出主張－目的是讓學生對該實驗下結論能考慮例外的情形。」Lu 與 Huang (2017) 培育國小師資生使用 PO+E 教學法在國小自然領域試教，發現國小學童撰寫實驗過程、實驗結果都沒有問題，但撰寫科學原理和對該實驗下結論感覺有些難度；國小學童很難撰寫「尋找例外」，所提出的「主張」和「下結論」幾乎相同。Lu (2018) 培育國小師資生使用 PO+E 教學法設計實驗課程，發現師資生設計的實驗課程可以測試國小學童的另有概念，師資生能引導國小學童撰寫實驗過程、實驗結果、科學原理和對該實驗下結論，但是在尋找例外、形成主張方面則需要再加強，主要原因是把「尋找例外」當作是實驗誤差造成的。

二、奈米科技融入自然領域的核心能力、能力指標與相關教材

潘文福與周裕欽 (2012) 將奈米科技融入中小學自然科課程建立核心能力，由高至

低排序為：科學態度、科學技術認知、科學應用、思考智能、科技的發展。奈米科技融入國小的能力指標有：(一) 1-2-1-1 察覺事物具有可辨識的特徵和屬性。(二) 2-2-1-1 對自然現象有目的偵測，運用現成的工具來幫助觀察，進行引發變因改變的探究活動。(三) 6-3-2-3 面對問題時，能多做思考，提出解決方法。(四) 1-3-1-2 察覺一個事件，常可由不同的角度來觀察而看出不同的特徵(奈米教學聯盟網，2013)。在 12 年國教的自然科學領域課程手冊中提到自然界的尺度與單位、尺度與系統、從原子到宇宙等學習內容，都有提及奈米科技的跨科概念(教育部，2019)。趙毓圻、熊召弟與于曉平(2011)針對臺灣中小學奈米科技教材進行內容分析，認為在國小有四項重要概念：尺寸與尺度、物質構造、尺寸效應、力與交互作用，最常教學的教材有：蓮葉效應、彩蝶效應、蛾眼效應與壁虎效應等。Stevens、Sutherland 與 Krajcik (2009) 定義尺寸效應，即當物質趨近奈米尺度時會呈現的獨特現象，進而能應用在各科技產品中；尺寸效應涉及自然界有關的奈米現象，包含：蓮葉效應、彩蝶效應、蛾眼效應與壁虎效應等，這些新奇的奈米科技現象能引發學生的學習興趣。我國現行的國小奈米科技教材，多數是觀察奈米科技的自然現象和應用奈米科技產品，例如：自然界的彩蝶效應、自製實驗觀察光子晶體、創意自製蓮葉效應布(盧秀琴、宋家驥、張慧珍、陳月雲、陳桂貞，2012)。

三、因應十二年國教改革的自然科師資培育

因應教育部十二年國教的改革，要求培養學生應具備「自主行動、溝通互動、社會參與」等三面九項的能力；教育部針對十二年國教自然領域的改革，將「探究與實作」列為科學學習的重要指標，「探究與實作」是指中小學學生透過設計實驗與觀察，從證據中提出解釋，藉此理解科學概念，並認識科學家研究自然界所使用的方法(教育部，2019)。中小學為實施「探究與實作」課程，衍生出各種探究式教學法，目的在於培養學生的探究能力，例如：觀察、預測、分析、解釋...等(劉湘瑤，2016)。培育自然科教師實施「探究與實作」的課程發展時，建議根據學生的學習狀況，將探究活動分為：提出問題、規劃實驗、呈現結果、表達與分享等階段；自然科教師必須考量學生的探究能力，循序漸進的由結構式探究到引導式探究，最後達到開放式探究教學(白佩宜、許瑛珺，2011)。張世忠、蔡孟芳與陳鶴元(2012)認為教師的學科專業知識會影響學生的學習，學科專業知識包含知識和觀念，以及結構和規則，教師必需具備足夠的學科專業知識才能有效協助學生的概念理解。張世忠、李俊毅與謝幸芬(2013)進一步說明，老師必須轉化學科內容知識成為可教授的內容，在轉化的過程中，初任科學教師最常採用講述法傳遞教科書的內容知識，簡單而快速；但有經驗的同儕教練會使用模型、示範活動、動畫圖片來解釋教科書的概念，幫助學生理解科學概念(Geddis, Onslow, Beynon, & Oesch, 1993; Hoban, 2002)。本研究培育國小師資生使用 PO+E 教學法設計國小的奈米科技教案、微型教學與國小試教，目的是要達到自編教材、熟悉國小探究與實作、適性揚才的目的(教育部，2019)；故採用 Lu (2018) 設計的 PO+E 教學法設計教案評量 (Assessment of PO+E Design teaching plan, APD)，來檢核師資生設計 PO+E 教案與學習單的能力；採用盧秀琴與谷冰(2019)設計的 PO+E 微型教學評量 (Micro Teaching Assessment of PO+E, MTAP) 來評量師資生使用 PO+E 教學法的微型教學、國小試教等，

詮釋國小自然科師資培育是否達到成效。

參、研究方法

一、研究設計

本研究採個案研究法，以某教育大學修習「國小自然科教材教法」課程的 24 位國小師資生為對象，分成 8 組進行培育，為期 12 週。基於研究倫理的規定，在上課之前有對研究對象說明本研究的相關事務，並取得研究對象的同意；本研究已經取得國立台灣師範大學的研究倫理審查的核可證明書。首先，教授 PO+E 教學法、如何設計教案的理論課程（2 週），其次，師資生觀摩 PO+E 教學法教學案例影片與討論奈米科技教材（2 週）；然後，教授利用焦點團體法和各組師資生討論將奈米科技轉換為 PO+E 教學法的教案設計（2 週）；之後，8 組師資生進行微型教學，授課教授、輔導教師和同儕給予回饋，協助其修改教案（4 週）；最後，各組到國小實際試教，授課教授、輔導教師給予評量（2 週）。本研究主要探討國小師資生在「學科知識類、實務經驗類」的專業成長，就是師資生如何把奈米科技轉換成國小教案設計，以及將 PO+E 教學法的理論轉換為國小教學實務經驗的歷程。故本研究使用 PO+E 教學法設計教案評量（APD）來評量 8 組師資生的教案設計，使用 PO+E 微型教學評量（MTAP）來評量 8 組師資生的微型教學和國小試教，然後蒐集所有資料進行詮釋分析。

二、研究對象與輔導教師

（一）研究對象

本研究以某國立教育大學修習「國小自然科教材教法」課程之 24 位師資生為研究對象，他們在大一已經修習過普物、普化、普生及地球科學等基礎課程，在大二已經修習過「科學與科技」課程，其中有 6 週的奈米科技內容；修習過「昆蟲學」課程，學習使用 PO+E 教學法來設計昆蟲實驗。將師資生分成 8 組，每組 3 人，每組自編教材，設計一個適合國小的奈米科技教案，在課堂進行微型教學，並到國小實際試教。

（二）輔導教師

本研究聘請 4 位自然科輔導教師，擔任微型教學和國小試教的評審者；4 位輔導教師皆畢業於教育大學自然科學教育研究所，且擔任國小自然科教師達 12 年以上，是新北市自然科輔導員，參與科技部師資培育計畫達 3 年以上，並擔任自然科輔導老師 6 年以上；不論是自然科的專業知識，或是教學技能方面皆相當豐富，適合擔任本研究的輔導教師，師資生透過與輔導教師之間的互動，可幫助其在探究式教學上的專業成長。

三、研究工具

（一）PO+E 教學法設計教案評量（APD）

本研究修改 Lu（2018）所設計的評量表，藉以評量師資生設計的 PO+E 教案和學習單內容。APD 屬於半開放式評量表，分為轉換、預測、實驗觀察、科學解釋能力等四個向度，每個向度有 2-3 題評量內容，共計 10 題，每題給分標準為「完整」給 3 分，「部

份完整」給 2 分，「不完整」給 1 分，總分合計 30 分；另外 APD 設計「建議與回饋」空格，讓評審者寫出優點及待改進之處。本研究聘請 1 位專長科學教育的大學教授、1 位專長自然科學的大學教授與 1 位國小資深自然科教師修正並完成 APD 的專家效度。本評量表採用精釋法評量 (Hermeneutic Assessment, 洪榮昭, 1997) 及 Spearman 等級相關係數分析，建立評分者信度；步驟說明如下：1. 評量表由 A 組專家和 B 組專家進行評分，每一組四位專家討論達到共識後給一個成績。2. 將兩組專家的評量成績進行 Spearman 等級相關係數分析。3. Spearman 值= 0.71~0.80 表示高度的吻合度，Spearman 值= 0.81~1.00 則幾乎完全吻合 (Piantadosi, Howlett, & Boland, 2007)。本研究聘請兩組專家，A 組 4 位，有 1 位專長科教的師培教授、1 位教學「教材教法」的師培教授與 2 位國小自然科輔導教師，B 組 4 位，有 1 位專長奈米科技的大學教授、1 位教學「教育實習」的師培教授與 2 位國小自然科輔導教師，進行 APD 的評量。本研究 APD 評量之 AB 兩組的 Spearman 係數為 0.994，表示 AB 兩組專家評分符合評分者信度的考驗，評分可以採信。評量表的題目如附錄一。

(二) PO+E 微型教學評量 (MTAP)

本研究採用盧秀琴與谷冰 (2019) 所編製的評量表，藉以評量師資生 PO+E 實驗的微型教學和國小試教。MTAP 屬於半開放式評量表，分為 4 個評量向度：預測 (P)、實驗觀察 (O)、科學解釋能力 (+E)、整體表現等，每個向度有 5-6 題的評量內容，共 21 題；每題給分標準為「非常符合」給 5 分，「符合」給 4 分，「普通」給 3 分，「不符合」給 2 分，「非常不符合」給 1 分；另外每個向度有「評語」及最後「建議與回饋」空白欄，讓評量者填寫優點或建議事項。本研究聘請 1 位專長國小自然科教材教法的大學教授、1 位專長自然科學的大學教授與 1 位國小資深自然科教師修正並完成 MTAP 的專家效度。MTAP 採用精釋法評量及 Spearman 等級相關係數分析，建立評分者信度，步驟說明如上所述；本研究聘請上述的兩組專家進行 MTAP 的評量，MTAP 評量之 AB 兩組的 Spearman 係數為 .988，表示 AB 兩組專家評分符合評分者信度的考驗，評分可以採信。評量題目如附錄二。

四、資料蒐集與分析

本研究蒐集的資料包括：PO+E 教學法教案與學習單，師資生晤談，APD, MTAP 評量。針對研究問題進行編碼如表 1 所示，APD, MTAP 量化資料利用 SPSS 22.0 進行統計分析，最後綜合質性資料提出本研究的結論與建議。根據本研究目的蒐集相關資料、說明資料分析方式，整理如表 2 所示。本研究的詮釋性分析不排除量的資料，並著重課室觀察、晤談、非結構性的對話，做詳盡、描述性的現場記錄，用來詮釋師資生在本研究各種互動中所產生的意義。

表 1

本研究資料的編碼

資料項目	編碼	編碼說明
基本代號	PE-a	PO+E 教學法教案設計－師資生第 a 組
	PL-a	PO+E 教學法學習單設計－師資生第 a 組
	MTAP1-a-A	PO+E 微型教學評量表－師資生第 a 組－專家 A 組
	MTAP2-a-A	PO+E 國小試教評量表－師資生第 a 組－專家 A 組
	STI-a-b	師資生晤談題綱－第 a 組－師資生 b 號

表 2

本研究之研究問題、資料蒐集及資料分析方法之對應

待答問題	資料蒐集方法	資料分析方法
國小師資生如何應用 PO+E 教學法設計國小奈米科技的教案？	奈米科技 PO+E 教學法教案設計、學習單設計、教學 PPT、焦點討論與修正，APD	質性資料分類與整理 詮釋性分析，形成主張 APD 描述性統計分析
國小師資生如何應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的微型教學？	奈米科技 PO+E 教學法教案設計、學習單設計、教學 PPT、課室觀察與討論、MTAP 評量、晤談	質性資料分類與整理 詮釋性分析，形成主張 MTAP 描述性統計分析
國小師資生如何應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的國小試教？	奈米科技 PO+E 教學法教案設計、學習單設計、教學 PPT、課室觀察與討論、MTAP 評量、晤談	質性資料分類與整理 詮釋性分析，形成主張 MTAP 描述性統計分析

肆、研究結果與討論

一、國小師資生應用 PO+E 教學法設計國小奈米科技的教案

(一) PO+E 教學法設計教案與學習單

國小師資生在大二修習「科學與科技」課程，其中有 6 週的奈米科技內容是為其基礎訓練，包含：1. 自然界的奈米現象，2. 蓮葉效應測量接觸角，3. 光子晶體實驗，4. 觀察壁虎效應，5. 奈米技術與檢測，6. 奈米科技的應用等。各組師資生和授課教授進行焦點團體討論，師資生轉化大二所學習的「奈米科技內容」成為國小奈米科技的教材，使用 PO+E 教學法進行教案設計，整理內容如表 3 所示。

表 3

各組師資生根據國小自然領域現有單元設計 PO+E 教學法的奈米科技教案

組別	第一組	第二組	第三組	第四組
自然單元	三上：植物的身體	三下：小園丁學種菜	四上：水生家族	四下：昆蟲王國
教案名稱	驚「碳」『蓮』蓮	蓮生載道	奈人尋味，價值蓮城	看得見看不見
教材內容	蓮葉具有疏水性 模擬蓮葉的疏水性 燃燒不完全的碳顆粒	蓮葉具有疏水性 模擬蓮葉的疏水性 燃燒不完全的碳顆粒	奈米是很小的單位 比較兩種植物葉片的 疏水性	有些昆蟲眼睛、翅膀 具有類似光柵的結 構 探討蛾眼效應
PO+E 教學摘要	Q：試管有沒有燻黑，滴在上面的水珠有差異嗎？ 1. 依序進行實驗。 2. 觀察兩支試管水珠殘留的情況。	Q：紙杯杯底有沒有碳覆蓋，滴在上面的水珠有差異嗎？ 1. 依序進行實驗。 2. 觀察紙杯杯底水珠殘留的情況。	Q：水滴在蓮葉、榕樹葉子表面，水的形狀有差異嗎？ 1. 依序進行實驗。 2. 觀察水滴在兩種葉子上的變化。	Q：預測蜻蜓及夜行蛾的眼睛反光之差異 Q：預測蜻蜓及蟬的翅膀透光之差異 1. 依序進行實驗。 2. 討論結果
組別	第五組	第六組	第七組	第八組
自然單元	五上：光的世界	五下：動物世界	六上：生物生長環境	六下：生物與環境
教案名稱	五光十色—彩蝶效應	飛簷走「壁」之神奇的凡得瓦力	小材大用—神奇的壁虎效應	留蓮布捨—蓮葉效應的疏水性和自潔性
教材內容	偏振片具有週期性排列的奈米級構造 了解具有週期性排列的奈米構造能形成彩蝶效應	壁虎腳上有奈米級的剛毛與匙突 從鉛錘吸附力的影片實驗了解壁虎效應，以及運用壁虎效應	觀察不同動物攀爬的方式 壁虎腳上奈米級匙突和剛毛造成強大的凡得瓦力	理解奈米材料具有疏水性和自潔性 運用奈米科技的材料於生活中，能夠節省水資源
PO+E 教學摘要	Q：預測金龜子和獨角仙翅膀，哪一種具有彩蝶效應？ 1. 將昆蟲標本 360 度旋轉，觀察顏色變化 2. 說明金龜子翅膀符合彩蝶效應原理	Q：兩個鉛錘之間是否會互相吸引？ 1. 觀察兩鉛錘底部擠壓，互相吸引的實驗 2. 討論兩個鉛錘能彼此吸引的力量為凡得瓦力	Q：壁虎行走天花板，不會掉下來原因？ 1. 觀察壁虎、章魚行走影片，比較腳上構造的放大圖 2. 判斷壁虎腳的細部結構有什麼功能	Q：奈米材質的布料潑上墨汁會髒掉嗎？ 1. 進行奈米材質布料潑上墨汁的實驗 2. 比較奈米布與一般布的差異，了解疏水性和自潔性

焦點團體討論後，各組決定的 PO+E 教學法教案說明如下：有 4 組設計蓮葉效應教案，對應於「科學與科技」課程有學習 1. 自然界的奈米現象，2. 蓮葉效應測量接觸角，可以順利轉化課程；第 1 組設計蓮葉效應的疏水實驗，以蠟燭燻黑試管表面模擬蓮葉表面的結構，觀察水滴上去水滴形狀的改變；第 2 組、第 3 組設計相似於第 1 組，第 2 組材料改成蠟燭燻黑紙杯底部，第 3 組則直接將水滴在榕樹葉和蓮葉上。第 8 組則使用奈米塗料處理過的布料，潑上墨汁實驗以證明疏水性和自潔性。有 2 組設計壁虎效應教案，第 6 組先觀察壁虎行走，接著觀察鉛錘吸附力實驗說明凡得瓦力和壁虎效應的關係；第 7 組觀察各種動物行走，再觀察壁虎腳上奈米級匙突和剛毛造成強大的凡得瓦力。第 4 組設計蛾眼效應教案，觀察蜻蜓及夜行蛾的眼睛之反光差異、蜻蜓及薄翅蟬的翅膀之透光差異。第 5 組設計彩蝶效應教案，將金龜子和獨角仙翅膀 360 度旋轉，觀察顏色是否

改變，去解釋彩蝶效應的形成。

從各組所設計的 PO+E 教學法教案及學習單分析，8 組設計的學習單都有符合 PO+E 教學法的精神，故評量「將科學與科技的內容知識轉化成國小學習單」做為第二個標準，選擇 PO+E 教學法設計最完整而轉化奈米知識富於創新學習的第 4 組學習單（圖 1）和設計 PO+E 教學法最一般而轉化奈米知識最少的第三組學習單（圖 2）說明之。第 4 組利用四年級昆蟲單元結合蛾眼效應設計教案，主要探討光線照射蛾與其他昆蟲的眼睛發現，蛾眼幾乎沒有反光，在夜裡不易被獵食，而其他昆蟲則會有反光，如果在夜裡較容易被天敵捕食；而薄翅蟬的翅膀也有類似的效應，不容易反光，光線能直接穿透，讓捕食者較不容易發現牠；第四組選擇容易觀察的蜻蜓、蛾和薄翅蟬做觀察，實驗效果不錯，另外選擇臉譜放在昆蟲翅膀的後面，隔著翅膀圈出看不清楚臉譜的位置，學生容易操作和觀察，相當具有創意。第 3 組設計轉化奈米知識最少，水生植物單元介紹四種不同類型的水生植物，蓮花為挺水性水生植物的代表，所以順勢探討蓮花葉片的表面現象還算流暢，只是所設計的蓮葉效應教案，相同於坊間或 K-12 補充講義的教案設計，所以轉化內容知識最少。共四組蓮葉效應的教案設計，第 1 組、第 2 組，除了觀察水滴蓮葉的現象外，還增加模擬性實驗，利用燃燒不完全的奈米級碳顆粒模擬蓮葉細微絨毛上的蠟質結晶，一組覆蓋在試管，另一組覆蓋在紙杯底部，讓學生進行探究與實作；而第 8 組以經過奈米塗料表面處理的布料進行髒汙實驗，讓學生了解布料塗上奈米結構的塗料，就具有蓮葉效應，能夠應用於生活且不怕髒汙；這三組的教案設計都比第 3 組好，具有將科學與科技的內容知識轉化成國小學習的內容。

一、預測蜻蜓及薄翅蟬翅膀背後的圖卡成像清晰度。

蟬		在左圖中，隔著蟬的翅膀你可以把臉譜的五官都看清楚嗎？圈出不清楚的地方。
蜻蜓		在左圖中，隔著蜻蜓的翅膀你可以把臉譜的五官都看清楚嗎？圈出不清楚的地方。

為什麼？(我預測這樣的結果是因為...)

二、觀察蜻蜓及蟬的翅膀背後的圖卡成像清晰度。

- 分別找出蟬和蜻蜓的翅膀，將圖卡放置在翅膀的後面
- 觀察兩者的清晰度

蟬的翅膀	蜻蜓的翅膀
我觀察到哪些地方是模糊的？	我觀察到哪些地方是模糊的？
	

三、科學解釋觀察結果

蟬的翅膀	蜻蜓的翅膀
與預測的結果是否相同，為什麼？	與預測的結果是否相同，為什麼？

<p>實驗過程：</p> <p>將蜻蜓和蟬的翅膀分別放置圖卡上方，觀看圖卡的清晰程度。</p>	<p>實驗結果：</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>科學原理和證據：</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>對該研究下結論：</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>尋找例外：</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>提出主張：</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
---	--	--	--

圖 1 第 4 組 PO+E 教學法設計學習單 (PL-4)

實驗一	蓮葉效應								
	植物葉片的疏水性比較								
學生預測(P)	1. 蓮花的葉子表面_____；使用水滴在葉子上水的形狀會有什麼變化？ 2. 榕樹的葉子表面_____；使用水滴在葉子上水的形狀會有什麼變化？	預測：在蓮花的葉子上滴水，水會變成圓的水珠嗎？回答：_____因為：_____ 2. 在榕樹的葉子上滴水，水會變成圓的水珠嗎？回答：_____因為：_____							
實驗觀察(O)	1. 在蓮花的葉子上滴水，請學生觀察水在蓮葉上的變化。 2. 在榕樹的葉子上滴水，請學生觀察水在榕樹葉上的變化。								
									
實驗結果的解釋(E)	1. 在蓮花的葉子上滴水，水的形狀變成_____，因為： 2. 在榕樹的葉子上滴水，水的形狀變成_____，因為：								
科學解釋能力	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; padding: 5px;">實驗結果：</td> <td style="width: 40%; padding: 5px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">實驗過程：</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">對該研究下結論：</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">實驗的科學原理和證據：</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">尋找例外：</td> </tr> </table> </td> <td style="width: 35%; padding: 5px;">提出主張：</td> </tr> </table>		實驗結果：	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">實驗過程：</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">對該研究下結論：</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">實驗的科學原理和證據：</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">尋找例外：</td> </tr> </table>	實驗過程：	對該研究下結論：	實驗的科學原理和證據：	尋找例外：	提出主張：
實驗結果：	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">實驗過程：</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">對該研究下結論：</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">實驗的科學原理和證據：</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">尋找例外：</td> </tr> </table>	實驗過程：	對該研究下結論：	實驗的科學原理和證據：	尋找例外：	提出主張：			
實驗過程：	對該研究下結論：								
實驗的科學原理和證據：	尋找例外：								

圖 2 第 3 組 PO+E 教學法設計學習單 (PL-3)

第 5 組到第 8 組的學習單整理如圖 3 所示，第 5 組學習單有詳細說明將昆蟲旋轉 360 度的實驗步驟和觀察翅膀顏色的變化，並有實驗觀察的解釋，但可以增加圖片提醒學生觀察重點。第 6 組學習單有圖文說明實驗步驟和觀察重點，有設計實驗觀察記錄的欄位，實驗結果有引導學生觀察的引導句字，例如：叮嚀學生從力的概念去解釋。第 7 組學習單強調壁虎的腳不是使用黏液、吸盤吸附在天花板上，而是使用腳上奈米級匙突和剛毛，所以在實驗觀察放了很多照片提醒學生觀察和比較。第 8 組學習單的預測先奠定背景知識，說明一般布和奈米科技布的差異再進行預測，實驗觀察時讓學生畫出水滴在一般布和奈米科技布的差異，然後再解釋疏水性和自潔性。

實驗觀察(O)	1. 將獨角仙放置在標本架上，360 度旋轉標本金，觀察獨角仙翅鞘(前翅)的顏色變化。 2. 將金龜子放置在標本架上，360 度旋轉標本金，觀察金龜子翅鞘(前翅)的顏色變化。	
	獨角仙翅鞘的顏色變化	金龜子翅鞘的顏色變化
實驗觀察的解釋(E)	1. 獨角仙的翅鞘 _____ (是或否)具有彩蝶效應的特性 因為： 2. 金龜子的翅鞘 _____ (是或否)具有彩蝶效應的特性 因為：	

實驗觀察(O)		
	圖 1：削過的鉛錘底部	圖 2：未削過的鉛錘底部
哪一組的鉛錘在擠壓靠近後能夠彼此吸引？ 答：(削過的/未削過的)		
實驗結果	1. 實驗中的鉛錘能夠彼此吸引，可能是運用什麼力量？ 答： 2. 有削過的或沒有削過的鉛錘，哪一組能夠吸引彼此？為什麼？ (請從第一題中「力」的概念解釋) 答：	

第 5 組學習單設計 (PL-5)

第 6 組學習單設計 (PL-6)

實驗觀察(O)	1. 學生觀察壁虎行走過後所留下的痕跡，請學生比較蝸牛行走過的黏液痕跡，來判斷壁虎是不是用黏液來爬行。 2. 學生觀察壁虎腳掌詳細構造照片，請學生比較章魚腳上的吸盤構造和壁虎腳掌的放大圖來判斷壁虎是不是用吸盤來爬行。		
			
	圖 1：蝸牛行走過的黏液痕跡	圖 2：章魚腳上的吸盤構造	
			
	圖 3：壁虎腳掌構造	圖 4：壁虎腳掌放大圖	

學生預測(P)	1、一般材料表面都大於奈米的尺度 2、一般材料碰到水及髒污時，兩者皆會附著於材料表面 3、奈米材料碰到水及髒污時，兩者皆無法附著其上	預測 當自製的奈米布，碰到墨汁時，會： _____ 因為： _____
	實驗觀察(O)	1、在材料上潑幾滴墨汁 2、比較奈米布與一般的布差別
	圖一：繪出普通的布遇墨汁的情形	圖二：繪出奈米布遇墨汁的情形

第 7 組學習單設計 (PL-7)

第 8 組學習單設計 (PL-8)

圖 3 第 5 組-第 8 組的 PO+E 教學法設計學習單

(二) 各組 PO+E 教學法設計奈米科技教案之 APD 評量分析

共 8 組師資生使用 PO+E 教學法設計奈米科技教案，經過 APD 評量的結果整理如表 4 所示。

表 4

各組師資生設計 PO+E 教學法奈米科技教案之 APD 評量分析

項目組別	轉換C		預測P		觀察O		科學解釋能力+E		總分	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
第1組	4	4	5	5	6	6	5	5	20	20
第2組	4	4	5	5	5	5	4	4	18	18
第3組	3	4	4	4	4	4	4	4	15	16
第4組	6	6	8	8	8	7	5	5	27	26
第5組	4	4	6	6	5	5	4	4	19	19
第6組	5	5	6	6	7	7	5	5	23	23
第7組	5	5	7	8	7	7	6	6	25	26
第8組	4	4	7	7	5	5	4	4	20	20
平均	4.4		6.1		5.8		4.6		20.9	
百分等級	0.73		0.68		0.64		0.77		0.70	
Spearman	0.929		0.981		0.981		1.000		0.994	

各組師資生 APD 的平均得分為 20.9 分，百分等級為 0.70，表示各組師資生所設計的教案與學習單尚符合 PO+E 教學法精神，其中第 4 組得分最高 26.5 分，百分等級為 0.88，其轉換能力百分等級為 1.00；第 3 組得分最低 15.5 分，百分等級為 0.52，其轉換能力百分等級為 0.58，預測百分等級為 0.44，因為設計內容都是學生知道答案的知識內容。進行 APD 各向度分析，「轉換 C」向度平均得分 4.4 分，百分等級為 0.73，表示師資生能將學習的奈米科技知識轉化為國小學生能接受的教案設計與教學；「預測 P」向度平均得分 6.1 分，百分等級為 0.68，表示師資生尚能鋪設情境，預測的題目清晰並聚焦於實驗主題；「觀察 O」向度平均得分 5.8 分，百分等級為 0.64，表示師資生尚能說明實驗步驟、觀察重點，並聚焦於預測題目，但不如「預測 P」向度好；「科學解釋能力 +E」向度平均得分 4.6 分，百分等級為 0.77，表示師資生能呈現科學解釋能力的 6 個細格，有些細格能增加輔助用語。

(三) 各組應用 PO+E 教學法設計奈米科技教案之教師專業成長

有 4 組師資生設計國小蓮葉效應教案，其在大二修習「科學與科技」課程的蓮葉效應，重點在於蓮葉表面有很多微米的乳突，乳突上有很多奈米級纖毛，纖毛覆有奈米級的蠟質結晶，蠟質結晶形成高疏水性，和水滴的接觸角大於 135 度；但 4 組師資生能轉換學科專業知識成為國小學童能理解的概念，第 3 組師資生直接指導國小學童觀察校園蓮花葉的蓮葉效應，形成水珠反應；第 1, 2, 8 組師資生的實驗設計是國小學童燻黑碳顆粒或相關材料製造蓮葉效應的效果。表示國小師資生能轉換學科內容知識成為國小學童可理解的概念，透過實驗觀察理解蓮葉效應，其他四組的師資生也有相同的效果，這是他們轉換學科內容知識成為國小學童可理解的教學內容之教師專業成長。

各組師資生應用 PO+E 教學法設計奈米科技教案時，經過焦點團體討論後，師資生能思考「尋找道具」來設計國小實驗，例如：第 4 組師資生選擇臉譜放在昆蟲翅膀的後面，隔著翅膀圈出看不清楚臉譜的位置，就能比較是否有蛾眼效應的成效；第 5 組師資生將昆蟲標本固定在旋轉盤上 360 度旋轉，就能觀察該昆蟲是否有光子晶體效果。其他組別的師資生則能利用影片、動畫圖片來協助國小學童的觀察，例如：第 6, 7 組都是利用影片、動畫圖片來幫助學童觀察壁虎的爬行、壁虎腳上的細部結構、鉛錘的實驗等，足見師資生已經學會使用國小學童能觀察、比較與分析的簡單道具、影片、動畫圖片來設計奈米科技教案，獲得教師專業成長。

二、國小師資生應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的微型教學

(一) PO+E 教學法微型教學之 MTAP 評量

共 8 組師資生使用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的微型教學，經過 MTAP 評量的結果整理如表 5 所示。

表 5

各組師資生使用 PO+E 教學法進行奈米科技教案微型教學之 MTAP 評量分析

組別/ 項目	預測P		實驗觀察O		科學解釋能力		整體表現		總分		兩組 平均
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
第1組	2.4	2.4	3.6	3.6	4.2	4.2	3.5	3.5	13.7	13.7	13.7
第2組	3.6	3.6	3.0	3.0	3.8	3.8	3.2	3.2	13.6	13.6	13.6
第3組	2.2	2.2	3.0	3.0	3.6	3.6	3.0	3.0	11.8	11.8	11.8
第4組	3.2	3.2	3.3	3.3	3.6	3.6	3.1	3.1	13.2	13.2	13.2
第5組	3.0	3.0	2.4	2.4	3.6	3.6	3.0	3.0	12.0	12.0	12.0
第6組	3.4	3.2	3.2	3.2	3.6	3.6	3.0	3.0	13.2	13.0	13.1
第7組	3.4	3.4	3.0	3.0	3.8	3.8	3.2	3.4	13.4	13.6	13.5
第8組	2.4	2.4	3.0	3.0	3.6	3.6	3.0	3.0	12.0	12.0	12.0
Spearman	.982		1.000		1.000		.993		.988		
平均	2.94		3.06		3.73		3.14		12.86		12.86

MTAP 共 4 個向度，每個向度滿分是 5.0 分；各組師資生 MTAP 的平均總分為 12.86 分，百分等級為 0.64，表示各組師資生的奈米科技實驗之微型教學達到 PO+E 教學法精神只有及格而已，因為師資生尚沒有教學的經驗；其中第 1 組得分最高 13.7 分，第 3 組得分最低 11.8 分。進行 MTAP 各向度分析，「預測 P」向度平均得分 2.94 分，師資生進行「預測」教學時，使用引導語還要再加強；評審專家認為「師資生在預測時就解釋太多內容，造成學童預測的空間降低 (MTAP1-3-A)；師資生的預測引導語還要再明確，學童才能思考背後的原因來回答 (MTAP1-8-B)」。「實驗觀察 O」向度平均得分 3.06 分，師資生進行「實驗觀察」教學時，要注意各組的實驗進度是否跟上，觀察內容是否詳實紀錄；評審專家認為「師資生進行「實驗觀察」教學時，進度太快，學童可能跟不上 (MTAP1-5-B)；師資生的實驗觀察教學，應該讓學童把實驗結果紀錄下來 (MTAP1-2-A)」。「科學解釋能力+E」向度平均得分 3.73 分，師資生介紹科學解釋能力時，有些會舉例說明，但尋找例外當作實驗誤差產生的，太狹隘了；評審專家認為「師資生介紹科學解釋能力時，會舉例說明下結論和主張的差異是什麼，很好 (MTAP1-1-A)；師資生把「尋找例外」當作「實驗誤差造成」，太狹隘了，宜多尋找不屬於規則的事件 (MTAP1-6-B)」。「整體表現」向度平均得分 3.14 分，師資生微型教學的整體表現還算符合教學目標，實驗教學能幫助學童獲得科學過程技能；評審專家認為「師資生微型教學的整體表現算是及格，能幫助學童獲得預測、觀察與解釋的科學過程技能 (MTAP1-4-B)；師資生的微型教學有達到一些教學目標 (MTAP1-7-A)」。

(二) 國小師資生微型教學需要改進的地方

整理各組師資生微型教學的課室觀察與 MTAP 質性資料，發現有以下的缺點，需要各組師資生進一步修正：

1. 奈米科技知識轉化時產生錯誤：錯以為姑婆葉有蓮葉效應，應該山芋葉才有蓮葉效應；蓮葉表面結構敘述錯誤，認為蓮葉表面有奈米級乳突，應該是蓮葉表面有微米的乳突，乳突上有奈米級纖毛，纖毛覆有奈米級的蠟質結晶才正確。

2. 當學童無法預測時沒有搭鷹架：例如第六組的預測：削過的鉛錘是否能互相吸附？學童沒有這方面的背景知識，應該要搭鷹架，說明削過的鉛錘和沒有削過的鉛錘的結構面會有什麼差異？但師資生沒有搭鷹架，直接教導知識內容。

3. 「科學解釋能力」引導語不夠白話：使用過於複雜的語句引導，會造成國小學童聽不懂，應該使用國小學童背景程度的語言作引導語。

4. 建構奈米科技知識的影片太過複雜冗長：一則可能國小學童看不懂，建構知識時產生困難，二則無法聚焦於國小學童所要學習的奈米科技知識，故所選用的影片或圖片應呼應所設計的奈米科技實驗。

三、國小師資生應用 PO+E 教學法進行奈米科技教案的國小試教

(一) PO+E 教學法國小試教之 MTAP 評量

各組師資生根據微型教學的 MTAP 評量與建議，進行奈米科技教案設計的修正後，前往國小試教，經過 MTAP 評量的結果整理如表 6 所示，MTAP 評量之 Spearman 係數為 .998，表示 A 組、B 兩組專家評分符合評分者信度的考驗，評分可以採信。

表 6

各組師資生使用 PO+E 教學法進行奈米科技教案國小試教之 MTAP 評量分析

組別/ 項目	預測P		實驗觀察O		科學解釋能力		整體表現		總分		兩組 平均
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
第1組	3.8	3.8	4.0	4.0	3.8	3.8	3.6	3.6	15.2	15.2	15.2
第2組	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.2	4.2	16.7	16.7	16.7
第3組	3.0	3.0	3.8	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	13.9	13.8	13.85
第4組	4.8	4.8	4.8	4.8	4.7	4.7	4.7	4.7	19.0	19.0	19.0
第5組	3.8	3.9	4.4	4.4	3.7	3.7	3.9	3.9	15.8	15.9	15.85
第6組	4.4	4.5	4.6	4.6	3.9	3.9	4.2	4.2	17.1	17.2	17.15
第7組	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	15.0	15.0	15.0
第8組	3.6	3.6	4.0	4.0	3.7	3.7	3.7	3.7	15.0	15.0	15.0
Spearman	.982		.994		.962		.994		.998		
平均	3.91		4.18		3.95		3.92		15.96		15.96

各組師資生 MTAP 的平均總分為 15.96 分，百分等級為 0.80，表示各組師資生的奈米科技教案之國小試教達到 PO+E 教學法精神，比微型教學進步 3.10 分；其中第 4 組得分最高 19.0 分，第 3 組得分最低 13.85 分。進行 MTAP 各向度分析，「預測 P」向度平均得分 3.91 分，師資生進行「預測」教學時，使用引導語已經符合國小學童能理解的程度；評審專家認為「師資生請國小學童預測獨角仙跟金龜子的翅膀，哪個具有彩蝶效應？會引導學童回想哪個翅膀會改變顏色，會改變顏色表示什麼？(MTAP2-5-A)」。「實驗觀察 O」向度平均得分 4.18 分，師資生進行「實驗觀察」教學時，會巡堂觀察各組學童的實驗進度，並且讓學童上台紀錄實驗數據；評審專家認為「師資生進行試教時，除了詳細介紹實驗步驟外，還會下來巡堂，觀察學童的實驗操作 (MTAP2-4-B)；作完實驗後，師資生會請各組學童把實驗結果紀錄在黑板上，再一起檢討 (MTAP2-6-A)」。「科學解釋能力+E」向度平均得分 3.95 分，有 2 組師資生確實能有效引導國小學童深度思考和討論「科學解釋能力」並逐一撰寫，但有 6 組師資生因為教學時間緊迫的關係，引導學童書寫「科學解釋能力」時，未能讓國小學童深度思考而流於直接說答案；評審專家認為「師資生介紹科學解釋能力時，若能減少說明每一格的正確答案，更可呈現國小學童的多元思考 (MTAP2-8-B)」。「整體表現」向度平均得分 3.92 分，師資生的國小試教

呈現比較嚴重的問題是最後發現教不完了，就拼命的趕課；評審專家認為「師資生發現教不完了，就一直趕課，結果都是師資生在講答案，讓學童寫在學習單中(MTAP2-7-B)；師資生如果教不完，建議變成回家作業，下次上課再一起檢討，比較符合探究式教學(MTAP2-1-A)」。

(二) 國小師資生微型教學到國小試教的教師專業成長

本研究培育國小師資生使用 PO+E 教學法研發國小奈米科技教案與教學，發現國小師資生已經學會 PO+E 教學法的精髓，嘗試設計「預測、實驗觀察、科學解釋能力」各項度的探究式教學模式，並落實於微型教學和國小試教中；在整體教學成效的考驗是進步的，師資生的反應也是正向的多，表示國小師資生能接納 PO+E 教學法並獲得教師專業成長，將來在國小服務時也能應用於國小自然領域的教學。其教師專業成長分析如下：

1. MTAP 在微型教學與國小試教比較：整理國小師資生微型教學、國小試教的 MTAP 各向度的平均分數，說明如圖 4 所示。從微型教學到國小試教，進步最多是實驗觀察，平均進步 1.12 分；其次是預測，平均進步 0.97 分；然後是整體表現，平均進步 0.78 分；進步最少是科學解釋能力，平均進步 0.22 分。師資生主要進步的原因是授課教授和國小資深教師在微型教學後的總檢討，針對各組的「預測、實驗觀察、科學解釋能力、整體教學」各有什麼缺點一一說明改進策略，並且國小資深教師會當場示範應該怎麼教學，讓各組師資生修正後再做課後的練習教學。

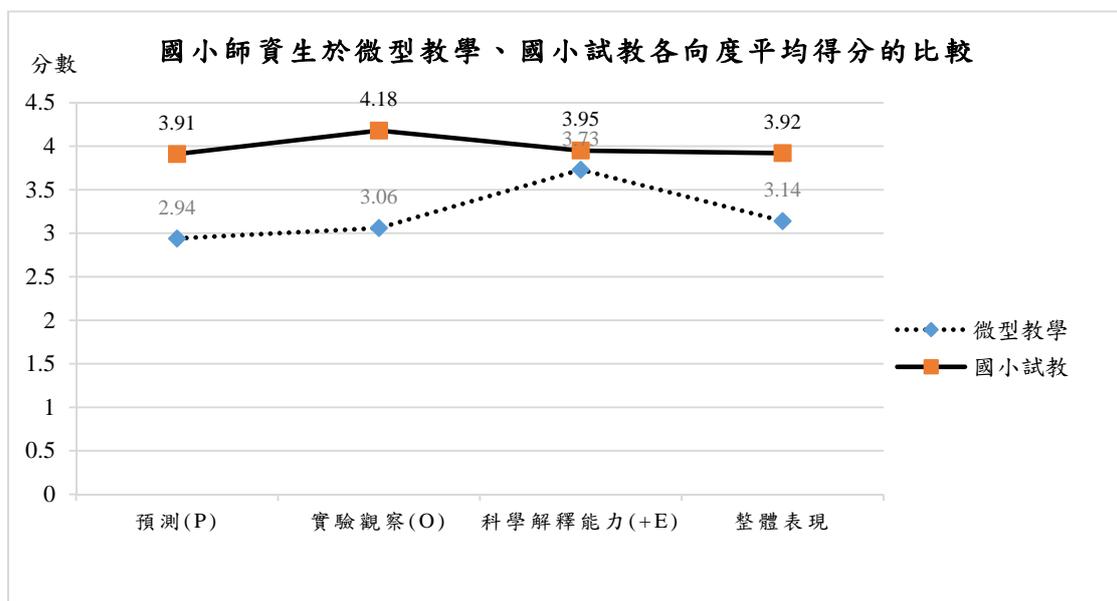


圖 4 國小師資生於微型教學、國小試教 MTAP 各向度平均得分的比較

2. 「預測」的教師專業成長：多數組別進行 PO+E 教學時，「預測」都會使用開放式提問，並讓學童說明預測背後的理由，在實際試教時，只有 4 組能綜合學童的意見歸納在黑板上，提醒學童做完實驗後要比對實驗結果和自己的預測是否相同。

3. 「實驗觀察」的教師專業成長：實際試教時，每組師資生都會說明實驗小約定一

聽從老師指示再進行實驗、愛惜實驗材料、隨時紀錄實驗結果、有問題馬上舉手問老師。師資生已經學會採漸進式的「實驗觀察」說明，以彩蝶效應為例（圖 5）說明之，先介紹偏振片的構造，然後使用偏振片進行光的示範實驗，之後說明端紫斑蝶的彩蝶效應，建構彩蝶效應的知識後，再進行金龜子和獨角仙的翅膀 360 度旋轉實驗，觀察顏色的變化。多數組別「實驗觀察」後，能引導學童比對實驗結果和自己的預測是否相同。

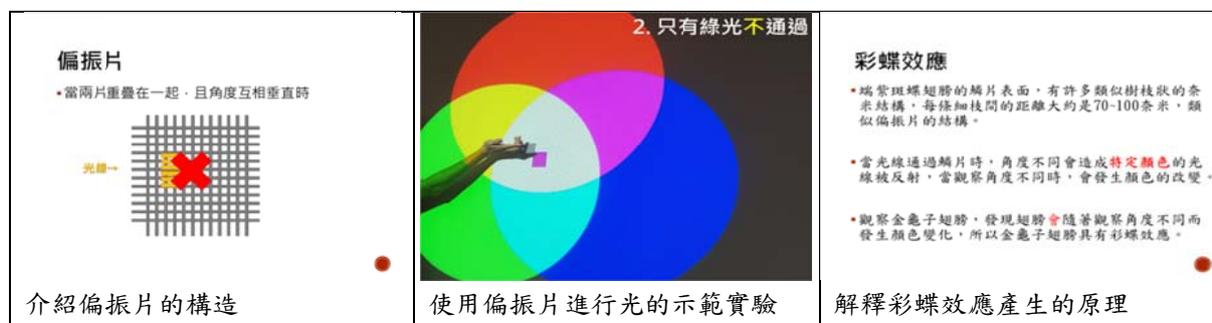


圖 5 第 5 組的 PO+E 教學法「實驗觀察」(PE-5)

4. 「科學解釋能力」的教師專業成長：實際試教時，所有組別的師資生都能解釋「科學解釋能力」6 格的寫法，但只有 2 組能引導學童作答，並討論答案的正確性；其他 6 組師資生因為教學時間來不及，是直接講答案給學童寫在學習單上。

5. 「整體表現」的教師專業成長：實際試教比微型教學平均進步 0.78 分，主要是師資培育訓練的效果，在輔導教師引導下，師資生面對國小學童能維持流暢的教學，並鼓勵各組學童踴躍發表；指導學童進行實驗操作時，能隨時提醒學生需要觀察的重點，讓學童從實驗中獲得科學過程技能和正確的科學態度。

6. 師資生對 PO+E 教學法的觀點：本課程結束晤談所有師資生，晤談題目「你修習國小自然科教材教法後，未來有機會任教國小自然科時，會使用 PO+E 教學法嗎？為什麼你這樣認為？」結果有 11 位（46%）師資生會使用 PO+E 教學法，集中在第二、四、六組的師資生，理由是「PO+E 教學法能讓學生產生認知衝突，使用科學解釋能力能引導學生做有依據的科學解釋，此方法使學童印象更深刻（STI-4-1）；此教學法可以幫助自己備課時更有系統，增進學童思考，邏輯推演，而非單方向接收資訊（STI-6-2）」，這些組別的師資生學習態度很積極，會主動詢問授課教授、輔導教師相關的教學問題而不斷精進自己的 PO+E 教學法。有 7 位（29%）師資生選擇有條件使用 PO+E 教學法，理由是「高年級可以配合適當單元使用，讓學童除了做實驗外，同時能熟練科學解釋能力（STI-1-2）；PO+E 教學法需要經過多次的練習，如果時間充足就會使用此教學法（STI-5-3）」。第三、八組的師資生等 6 位（25%）師資生選擇不會使用 PO+E 教學法，理由是「PO+E 教學法教學花很多時間，學童寫不完學習單（STI-3-1）；PO+E 教學法的學習單難度對國小學童太過困難（STI-8-2）」，第三、八組師資生使用現成材料設計奈米科技的教案，在國小試教直接使用講述法，「科學解釋能力」直接講答案給學生書寫，從微型教學到國小試教進步不多。

四、綜合討論

(一) 國小師資生將奈米科技知識轉換成國小奈米科技的教案設計

國小師資生從「科學與科技」課程所學得的奈米科技知識，轉換成國小奈米科技的教案設計時，有 4 組設計蓮葉效應，有 2 組設計壁虎效應，有 1 組設計蛾眼效應，有 1 組設計彩蝶效應；和趙毓圻等人（2011）的研究相似，最常教學的奈米科技教材有：蓮葉效應、彩蝶效應、蛾眼效應與壁虎效應等。共 4 組師資生所設計的蓮葉效應是從自然觀察、模擬材質的實驗，提出蓮葉效應具有疏水性和自潔性效果，並圖示蓮葉微細纖毛上的蠟質結晶說明產生蓮葉效應的科學原理；這相似於奈米教學聯盟網（2013）的研究，察覺奈米科技事件，常可由不同的角度來觀察而看出不同的特徵。彩蝶效應和蛾眼效應都是國小學童比較容易觀察的奈米科技現象，能引發學童的學習興趣，探討他們平時沒有注意的現象（盧秀琴等，2012），故師資生設計此教案比較容易達到教學成效。壁虎效應設計除了自然觀察、類比說明外，第 6 組引用「鉛錘吸附力實驗」影片去說明凡得瓦力，這關係到「尺寸效應、力與交互作用」，當物質趨近奈米尺度時，會呈現不同的獨特現象（Stevens, et al., 2009），國小學童可能比較難理解；但 12 年國教國小自然領域的課程綱要內容有尺度與單位、尺度與系統（教育部，2019），也許這是嘗試「尺寸效應、力與交互作用」教學的新契機。

(二) 培育國小師資生使用 PO+E 教學法於微型教學和國小試教

國小師資生使用 PO+E 教學法進行微型教學和國小試教，發現師資生進行「預測」教學時，微型教學只有提問開放式問句讓學童預測，國小試教進步到會先教導奈米科技先備知識再讓學童預測，甚至有師資生會搭簡單鷹架引導國小學童思考回答；這應歸功於 MTAP 評審專家群在微型教學後給予的改進策略和示範教學，讓國小師資生能逐一修正自己的缺失，使「預測」教學達到能檢視國小學生科學概念的成效；盧秀琴與徐于婷（2016）培育國小師資生使用 POE 教學法時，也說明相似的論點，國小資深教師的現身說法與建議，能讓師資生快速吸收教學的經驗。國小師資生進行「實驗觀察」教學時，有 6 組師資生能從微型教學簡單介紹實驗內容到國小試教時已能有層次性的引導國小學童觀察實驗結果，去呼應自己的預測是否相同；但仍有 2 組師資生使用直接講述法，一個口令一個動作在教國小學童做實驗。Sandholtz（2002）認為教師的專業成長是一種螺旋式的、互動的、多層次的學習過程，有效發展教師的專業成長必須從多方面給予支援，讓初學者具有內省和反思的轉化過程。師資生進行「科學解釋能力」教學時，從微型教學使用過於複雜的語句引導，到國小試教已經轉化成使用學童能理解的白話語句做引導；但在國小試教時，有 6 組師資生發現教學時間不夠了，直接講答案給國小學童寫在學習單上。這呼應張世忠等人（2013）的研究，初任科學教師最常採用講述法傳遞教科書的內容知識，簡單而快速；當師資生使用探究式教學法時，需要花更多的時間引導國小學童反覆的討論與科學解釋才能達到概念改變的成效（盧秀琴、徐于婷，2016；Fekete & Walker, 1997; Lu, 2016）。本次，國小師資生因為教學時間來不及而在「科學解釋能力」教學直接講答案，可能還需要培育他們如何進行討論，才能在有限的時間內收到國小學童表達科學解釋能力的成效。

伍、結論與建議

一、結論

(一) 國小師資生能應用 PO+E 教學法設計國小奈米科技的教案

共 8 組師資生能將「科學與科技」課程所學得的奈米科技內容，成功轉換成國小奈米科技的教案設計，並根據國小自然領域現有單元設計融入式教學，採用 PO+E 教學法的學習單，增列 6 格寫法以強化科學解釋能力。師資生一共設計有：蓮葉效應、壁虎效應、蛾眼效應和彩蝶效應等奈米相關教案，除了觀察或證明奈米科技的現象外，也應用於日常生活中，例如：蓮葉效應奈米材質布。

(二) 國小師資生能應用 PO+E 教學法進行國小奈米科技教案的微型教學

國小師資生應用 PO+E 教學法進行國小奈米科技教案的微型教學，從 MTAP 的平均分數來看，尚能達到 PO+E 教學法精神；需要改善的有師資生做「預測」教學時，不要解釋太多內容，讓學童有深度思考的空間；師資生進行「實驗操作」教學時，要懂得控制時間，重點說明實驗步驟；師資生進行「科學解釋能力」教學時，引導語要使用學童聽得懂的語句，播放「奈米科技」影片要簡明扼要。

(三) 國小師資生能應用 PO+E 教學法進行國小奈米科技教案的國小試教

國小師資生應用 PO+E 教學法進行國小奈米科技教案的國小試教，MTAP 的平均分數已經比微型教學進步很多，更符合 PO+E 教學法的精神與內涵。觀察國小試教，進行「預測」教學時，師資生會使用開放式提問，讓學童說明預測背後的理由；進行「實驗操作」教學時，師資生能講解實驗小約定後，放手讓國小學童做實驗；「實驗觀察」後，師資生能引導學童比對實驗結果和自己的預測是否相同，並能解釋「科學解釋能力」6 格的寫法，有 6 組師資生因為教學時間來不及而直接講「科學解釋能力」的答案。

二、建議

(一) 建議師資培育課程可以連續性的培育 PO+E 教學法，使其精熟

「自然教材教法」為大學部三年級師資生的必修課程，國小師資生雖然在大學二年級修習過「昆蟲學」，初步學習 PO+E 教學法實驗設計，但本研究發現國小師資生所設計的奈米科技教案於微型教學、國小試教都尚在啟蒙階段，尤其在國小試教時，對於國小學生的探究學習表現掌握度，包括：進行預測的引導語句、進行實驗與紀錄觀察、引導科學解釋能力的撰寫與發表等，仍不夠精熟需要再加強。研究者建議未來在大四的「教育實習」課程可以持續這方面的師資培育，以提升教學實務，讓師資生能累積更多 PO+E 教學法的教學經驗。

(二) 建議國小師資生先觀摩資深教師使用 PO+E 教學法教學，更能激發學習意願

國小師資生雖然經過「自然科教材教法」PO+E 教學法的培育，訪談發現仍有四分之一的師資生認為 PO+E 教學法很困難；為了改善此想法，後續研究可能讓國小師資生先進入國小課室，實際觀摩資深教師如何使用 PO+E 教學法進行探究教學與師生互動，讓師資生更清楚看到 PO+E 教學法確能引導國小學童的探究學習，增進其科學解釋的能

力；再結合教授、資深教師和各組師資生進行焦點團體討論，也許更能激發國小師資生學習 PO+E 教學法，增進教師專業成長。

參考文獻

一、中文部份

- 白佩宜、許瑛珺 (2011)。探討不同探究式教學法對高一生科學探究能力與學習環境觀感之影響。**課程與教學季刊**，**14** (3)，123-156。
- 奈米教學聯盟網 (2013)。國中光子晶體簡介、國小創意彩繪光子晶體。2013 年 5 月 23 日取自奈米教學聯盟網 http://colife.nchc.org.tw/nano_tlsc/
- 林燕文、洪振方 (2007)。對話論證的探究中學童論述策略對促進科學概念理解之研究。**屏東教育大學學報**，**26**，285-324。
- 科技部 (2015)。中華民國科學技術白皮書。臺北市：科技部。
- 美國新世代科學標準 (NGSS, 2013)。美國新世代科學標準內容及發展歷程。2017 年 5 月 15 日。取自：<http://www.nextgenscience.org/>
- 洪榮昭 (1997)。精釋 (Hermenutic) 研究法在政策評量的應用。**中等教育**，**48** (5)，39-47。
- 許良榮、羅佩娟 (2009)。以序列性 POE 探究學生的科學解釋能力：以「大氣壓力與表面張力」為例。**屏東教大科學教育**，**30**，42-55。
- 張世忠、蔡孟芳、陳鶴元 (2012)。國中科學教師的學科教學知識與科學教學導向之探討。**科學教育學刊**，**20** (5)，413-433。
- 張世忠、李俊毅、謝幸芬 (2013)。一個同儕教練為基礎之發展模式對國中科學教師 PCK 之影響：以〈熱與溫度〉單元為例。**科學教育學刊**，**21** (1)，1-24。
- 教育部 (2019)。十二年國小基本教育課程綱要-自然科學領域課程手冊。教育部。
- 陳均伊 (2010)。教師專業成長之個案研究：一位國中自然教師探究教學觀點的轉變。**教育科學研究期刊**，**55** (2)，233-264。
- 楊秀婷、王國華 (2007)。實施引導式探究式教學對於國小學童學習成效之影響。**科學教育學刊**，**15** (4)，439-459。
- 趙毓圻、熊召弟、于曉平 (2011)。臺灣中小學奈米科技實驗教材之內容分析。**教育科學研究期刊**，**56** (4)，1-42。
- 潘文福、周裕欽 (2012)。奈米科技融入國小 3-6 年級自然與生活科技課程核心能力與指標之研究—奈米專家觀點。**物理教育學刊**，**13** (2)，77-102。
- 劉湘瑤 (2016)。科學探究的教學與評量。**科學研習**，**55** (2)，5-11。
- 盧秀琴、宋家驥、張慧珍、陳月雲、陳桂貞 (2012)。「奈米科技」課程設計與概念理解教學手冊。臺北：五南。
- 盧秀琴 (2018)。設計 PO+E 實驗課程以強化「科學解釋能力」。盧秀琴 (主編) **建構 12 年國教國小自然科教材教法之課程模組**。(頁 167-184)。國立台北教育大學，臺灣臺北市。ISBN 978-986-05-7541-5 (平裝)。
- 盧秀琴、徐于婷 (2016)。國小師資生在自然領域的專業成長~以探究式教學為例。**師資**

培育與教師專業發展期刊，9（1），115-142。

盧秀琴、谷冰（2019）。比較不同背景的研究生如何設計 PO+E 實驗與微型教學。師資培育與教師專業發展期刊，12（1），1-28。

二、西文部份

- Fekete, P., & Walker, P. (1997). Interactive Teaching Resources for thermal physics. *UniServe Science News*, 8. <http://science.uniserve.edu.au/newsletter/vol8/fekete.html>
- Geddis, A. N., Onslow, B., Beynon, C., & Oesch, J. (1993). Transforming content knowledge: Learning to teach about isotopes. *Science Education*, 77(6), 575-591.
- Hoban, G. F. (2002). *Teacher learning for educational change: a systems thinking approach*. Buckingham [England]: Open University Press.
- Lu, C. C. (2016, December, 8-10). *Cultivate elementary school in-service teachers to design experiment course by Prediction-Observation-Explanation (POE) with the theory of scientific explanation*. Paper presented at 32rd ASET Annual International Conference, National Science Museum, Taichung, Taiwan.
- Lu, C. C., & Huang, Y. S. (2017, November, 7-10). *Elementary pre-service teachers apply a POAA framework to design science lesson plans and teach in the elementary school*. Paper presented at 9th International Conference on Science, Mathematics, and Technology Education (SMTE2017), University Malaysia Sabah, Sabah, Malaysia.
- Lu, C. C. (2018, June, 27-29). *Strengthen scientific explanation ability: Nurturing the pre-service teachers to design innovative PO+E teaching plan and teaching*. Paper presented at International Symposium on Education and Social Sciences, (ISESS, 2018), Okinawa Convention Center, Okinawa island.
- 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.
- National Research Council [NRC] (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Osborne J., Erduran S., & Simon S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 82, 63-70.
- Piantadosi, J., Howlett, P., & Boland, J. (2007). "Matching the grade correlation coefficient using a copula with maximum disorder". *Journal of Industrial and Management Optimization*, 3(2), 305-312.
- Sandholtz, J. H. (2002). In-service training or professional development: Contrasting opportunities in a school /university partnership. *Teaching and Teacher Education*, 18, 815-830.
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering: A guidebook for secondary teachers*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Toulmin, S. E. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University

Press.

White, R. & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding* (pp. 44-64). London, England: Falmer Press.

投稿日期：2018年04月15日
修正日期：2019年07月10日
接受日期：2019年09月30日

附錄一：PO+E 設計實驗評量表 (APD)

項目	評分標準	評分		
		3 完整	2分 部份完整	1分 不完整
轉換 C	能將所學奈米科技轉成國小奈米科技知識			
	實驗設計富含探究與實作精神			
預測 P	鋪設情境引起學習動機			
	預測的提問清楚，能測出另有概念			
	實驗主題與預測的提問有聚焦			
實驗 觀察 O	能清楚說明實驗的步驟			
	能清楚說明實驗觀察的重點			
	預測題目與實驗觀察有聚焦			
科學解釋 能力+E	能呈現 6 項科學解釋能力的細格			
	呈現每 1 項細格時，能增加輔助用語			
建議與回饋				

附錄二：PO+E 微型教學評量 (MTAP)

PO+E 微型教學評量與學生反應		評分					評語
		5	4	3	2	1	
預測 P	1. 教師能提問開放式問題，啟發學生進行高層次思考，例如：批判思考。						
	2. 教師的提問用語明確，學生能跟隨教師的提問進行個人的預測。						
	3. 學生在預測過程中，教師能適時引導，讓學生持續完成預測。						
	4. 教師設計的學習單，能讓學生把預測結果和理由做完整的紀錄。						
	5. 在實驗前，教師能讓各組學生分享自己的預測結果及理由。						
實驗 觀察 O	1. 在實驗前，教師能將實驗步驟及注意事項講解清楚。						
	2. 在實驗前，教師能事先告知學生實驗觀察的重點在哪裡，並且有設計表格、空格以記錄觀察內容。						
	3. 教師能引導學生正確進行實驗活動，並且仔細的觀察，並對應自己的預測。						
	4. 教師設計的學習單，能讓學生將觀察到的現象，並做完整的紀錄。						
	5. 學生能記錄觀察實驗結果和原先的預測是否相符合。						
科學 解釋 能力 + E	1. 教師能有效的引導學生填寫「 實驗過程 」。						
	2. 教師能有效的引導學生填寫「 實驗結果 」。						
	3. 教師能有效的引導學生查詢「 實驗的科學原理或證據 」。						
	4. 教師能有效的引導學生填寫「 對該實驗下結論 」。						
	5. 教師能有效的引導學生填寫「 尋找例外 」。						
	6. 教師能有效的引導學生填寫「 提出主張 」。						
整體 表現	1. 實驗活動的設計能符合教學目標。						
	2. 能幫助學生從實驗過程中獲得科學過程技能。						
	3. 藉由這樣的實驗教學，學生能培養良好的科學態度。						
	4. 能有效管理教室常規，鼓勵學生踴躍發表。						
	5. 控制教學時間合宜，維持流暢的教學。						
建議與回饋							

Cultivate Pre-Service Teachers to Use the PO+E Teaching Method to Develop Primary-School Nanotechnology Lesson Plan and Teaching

Chow-Chin Lu

Professor, Department of Science Education, National Taipei University of Education

Yi-Sheng Huang

Teacher, New Taipei City Tamsui Elementary School

ABSTRACT

In line with the teaching objective of “inquiry and implementation” as specified in the 12-year Basic Education, this study applied the PO+E teaching method to train 24 primary pre-service teachers who took the course of “Primary natural science teaching material and method” in a National University of Education to develop primary-school nanotechnology lesson plan in conducting micro-teaching and trial teaching. This study used Assessment of PO+E Design teaching plan (APD) to evaluate the nanotechnology plan, and Micro Teaching Assessment of PO+E (MTAP) to evaluate micro-teaching and trial teaching. The results were as follows: first, pre-service teachers could apply the nanotechnology content learned in the "Science and Technology" course and successfully convert it into nanotechnology teaching plan. Second, pre-service teachers could apply the PO+E teaching method to conduct micro-teaching and trial teaching. However, teachers should not explain too much content when “making prediction”, and should use language expressions understandable to primary-school students to develop their "scientific interpretation ability". Third, the PO+E teaching method is suitable for the teaching of “inquiry and implementation”. It is recommended that the pre-service teachers observe senior teachers who used the PO+E teaching method to interact with students in order to enhance learning effects.

Keywords: PO+E teaching method, scientific interpretation ability, primary nanotechnology plan, primary pre-service teachers, teacher professional growth

