

國立台灣師範大學科學教育研究所教學碩士班
碩士論文

指導教授：許瑛珪 博士

探討導入科學探究教學於科展培訓
對學生科學探究能力之影響

研究生：郭泓男

中華民國一零二年一月

誌謝

兩年半前坐在科教大樓 SE-204 教室上第一堂課時期待又興奮的心情，至今依然沒有忘記。當初從事教職，一部分就是期待這份工作有著很多進修與學習的機會，很高興在我覺得自己的教學已經上軌道的時候，選擇就讀了師大科教所。在科教所眾多教授們給予的指導，以及同學們之間的討論，不斷刺激我原本已經快要定型的教育思維，並讓我不斷檢視並改變自己的教學。是在科教所課堂中的學習，讓我有勇氣邀請同事一同在學校開了科學研究社這個特色社團，之後在許瑛珺教授的指導下，對這個社團的投入讓我開始了這篇論文上的研究。

能順利完成這篇論文要感謝的人太多了，首先要感謝的當然是在研究這條路上一直指引我明確方向的許瑛珺教授，沒有您的教導，我絕對沒有辦法完成這篇論文。您總是能在我腦中一片混亂時整理出看得到希望的那條線，也是您在百忙之中還耐心且和藹地指導我，讓我就算在工作上再怎麼累，都沒有退縮的理由。從您的身上我不僅學到了教學研究上的方法，更學到了如何去指導我的學生。

感謝黃福坤教授與台科大陳素芬教授在忙碌的教學與研究活動之中，還擔任我的論文口試委員。兩位教授細心地校正我的論文，並在口試時給予明確的修改意見與建議，讓我更清楚我這篇論文的價值以及未來還可以探索的方向。

感謝這兩年半來互相扶持前進的建榮與豐州，不論是在課堂上的小組報告或是與教授一起討論論文進度，有你們的陪伴與激勵是讓我在研究上前進很重要的動力，我不會忘記和你們一起在許瑛珺教授辦公室吃飯，還有 meeting 完在校園中散步、聊天的日子。也要感謝文馨學姐，沒有妳在關鍵時刻指導我如何正確地進行統計分析，這篇論文絕對會再拖很久才能完成。更要感謝學校同仁陳倩嫻老師、林芯聿老師，和兩位一起合作上課還有指導學生進行科展，增添了我的教學視野、彌補了我在化學與生物領域教學上的不足，並且在我比較忙碌的時候無條件地支援我。

最後要感謝我的家人，不論是我的父母、妹妹俞君、弟弟泓志，感謝你們在我寫論文這段時間忍受我敏感的情緒，隱藏我們家一向歡樂吵鬧的氣氛，克制自己製造出的音量，默默地陪伴我度過難熬的夜晚。最後再次感謝在我學習路上一路相遇的教授、同學、學生，和你們共同的回憶是支持我繼續向前走的力量。

探討導入科學探究教學於科展培訓

對學生科學探究能力之影響

郭泓男

摘要

本研究以美國奧勒岡州教育部門提出科學探究(Science Inquiry)四個面向、三層次評分準則形成的十二個科學探究能力分項(Oregon Department of Education, 2002)作為研究設計之科展培訓教學模組的主要參考依據，教學設計內容包含一學期 16 節的課程，課程教學目標涵蓋上述十二項科學探究能力分項。本研究採用混合方法設計研究法(mixed-methodology design)，使用便利取樣，研究對象包含接受本研究設計之科展培訓教學模組並參與研究者任教學校校內科學展覽者 11 位學生，作為實驗組；另外選取沒有接受科展培訓教學模組但有參與校內科學展覽者 11 位學生，作為對照組。研究問題有二：(1)實驗組學生接受科展培訓教學模組前後，科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？(2)探討接受科展培訓教學模組學生與沒有接受科展培訓教學模組學生，在參與科展活動前後科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？研究採用一開放式真實操作的斜面滑車實驗作為診斷學生探究能力的科學探究能力實作評量，並藉由學生實驗日誌、實驗組科展活動追蹤紀錄、晤談等質性資料的分析來探討上述兩個研究問題。針對第一個研究問題，研究結果發現實驗組學生在科展培訓教學模組前後，在科學探究能力實作評量的「實驗設計」、「實驗操作」、「數據處理」、「分析詮釋」四個面向的得分皆達到顯著差異($p < 0.05$)，且在總得分上達到高效果量($E.S.=2.27$ ， $p < 0.05$)，並在實作評量子面向得分的分析與質性資料的對照，歸納出學生在科學探究能力實作評量操作過程中明顯進步的行為特徵包括：(1)正確地操弄操作變因；(2)操作變因的控制改變具有規律性；(3)刪除誤差過大的數據；(4)將實驗圖表做正確的詮釋。沒有明顯進步的行為特徵則包括：(1)圖表的紀錄與組織完整；(2)面對實驗結果與預期或理論差異做正

確推論。而針對第二個研究問題，探討科學展覽活動對學生科學探究能力影響方面，實驗組與對照組的學生在科學探究能力實作評量表現皆有顯著進步（實驗組 $E.S.=1.51$ ， $p<0.005$ ；對照組 $E.S.=0.85$ ， $p<0.05$ ），在實驗組與對照組科展作品評分的比較上，發現實驗組在「分析詮釋」的表現明顯優於對照組($p<0.05$)。本研究針對質性資料進行內容分析，歸納出學生獲得實驗誤差相關概念來源、學生在面對科展實驗研究中誤差控制的處理策略、學生對於誤差在科學實驗造成影響的詮釋分別有哪些類型。研究者最後依據研究結論提出未來修改科展培訓相關教學模組設計與科學探究能力實作評量實施之具體建議。

關鍵詞：科學探究、科學展覽、實作評量

Exploring the Effectiveness of Students' Science Inquiry by Introducing Scientific Inquiry Teaching into Science Fair Training

Kuo Hung Nan

Abstract

Based on the Scientific Inquiry Scoring Guide raised by the Oregon Department of Education (2002), this study developed a 16-hour course to help students complete science fair projects. The objective of the course is to help students to attain the 12 inquiry abilities from four aspects in the Scientific Inquiry Scoring Guide. Following a mixed-methodology approach and a convenience sampling strategy, this study recruited a total of 22 students who participated in the science fairs held in their school. Half of the students who received the instructional model were viewed as the experimental group, while the other half who participated in the science fairs merely was the control group. A total of two research questions would be discussed in this study. First, what changes did the students in the experimental group display on their abilities of inquiry as well as experimental error control after the course? Second, what changes did the experimental group and control group display on their abilities of inquiry as well as experimental error control after their participations of the science fairs? In the study, students were required to do actual experiments on sliding cars, in order to assess their scientific inquiry ability through a performance assessment. Another data collected during students' experiments included their experimental log, science fair activity records of the experimental group, and student interview data. Results showed that all the students from the experimental group had significant differences in four aspects of scientific inquiry ability, including experimental design, experimental operation, data processing, analyzing and interpreting, and the total scores ($E.S.=2.27$, $p<0.05$). By comparing the scores they gained from performance assessments and other qualitative data, impressive improvements were observed from students' performances during experiments, such as manipulating independent variables correctly, displaying the abilities of variable control and alteration regularly, identifying and deleting data errors, and making correct interpretation of graphs. For

the second research question regarding between-group inquiry performance after science fairs, both of the experimental group and the control group showed significant improvements on the scores of their inquiry performance assessments (experimental group $E.S.=1.51$, $p<0.005$; control group $E.S.=0.85$, $p<0.05$). While comparing the scores of science fair projects, the experimental group had significantly higher scores than the control group did in the part of “analyzing and interpreting” ($p<0.05$). According to the qualitative data, this study identified the sources of students' concepts regarding experimental errors, the strategies that the students used to control errors which might occur during the experiments, and the types of students' interpretation on experimental errors. At last, based on the results of the study, school teachers can consider to applying the teaching model proposed in this study to train students how to accomplish their science fair and evaluating students' inquiry abilities through performance assessments.

Keywords: scientific Inquiry, science Fair, performance assessment

目錄

第一章 緒論	1
第一節 研究動機與背景	1
第二節 研究重要性	3
第三節 研究問題	4
第四節 名詞釋義	5
第二章 文獻探討	7
第一節 科學探究	7
第二節 科學探究教學設計	10
第三節 科學展覽對學生科學探究的影響	15
第三章 研究方法	20
第一節 研究對象	20
第二節 研究流程	23
第三節 科展培訓教學模組設計	25
第四節 研究工具	29
第五節 資料分析方法	35
第六節 研究範圍與限制	37
第四章 結果與討論	38
第一節 科展培訓教學模組對學生科學探究能力發展的影響	38
第二節 科學展覽活動對學生科學探究能力發展的影響	47
第三節 學生對於實驗誤差概念形成機制之探討	58
第五章 結論與建議	68
第一節 研究發現與結論	68
第二節 綜合討論	70
第三節 建議	72

參考文獻	76
附錄	83
附錄一 數據分析活動教案與學習單	83
附錄二 科學探究能力實作評量	87
附錄三 學生科展專題研究 實驗誤差控制分析	95
附錄四 科展作品評分準則	96
附錄五 科展成果依科學探究面相評分	97

表目錄

表 2-1-1：科學探究能力包含面向相關研究列表	9
表 2-2-1：COLBURN 的四種科學探究活動形式	11
表 2-2-2：4 組國內學者進行科學探究教學研究之比較	12
表 2-3-1：國內外學者針對科學展覽對於學生科學探究影響研究比較	17
表 2-4-1：4 組國內外學者科學探究評量設計之比較	19
表 3-1-1：研究者與其他同校教師指導校內科研社上學期課程表	21
表 3-1-2：學生研究小組研究主題	22
表 3-3-1：科展培訓教學模組課程設計	28
表 3-5-1：研究問題與研究方法對照表	36
表 4-1-1：實驗組學生科學探究能力實作評量前測與中測常態性檢定	38
表 4-1-2：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測主面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	39
表 4-1-3：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	41
表 4-1-4：實驗組學生在前測、中測行為特徵變化分析表	46
表 4-2-1：實驗組科學探究能力實作評量中測、後測主面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	47
表 4-2-2：實驗組科學探究能力實作評量中測、後測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	49
表 4-2-3：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測與後測主面向得分的弗里曼分析摘要表	50
表 4-2-4：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測與後測主面向得分的事後分析摘要表	50
表 4-2-5：對照組科學探究能力實作評量前測、後測主面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	51
表 4-2-6：對照組科學探究能力實作評量前測、後測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	52
表 4-2-7：實驗組與對照組參與科展前後科學探究能力實作評量主面向得分的曼-惠特尼 U 考驗摘要表	53
表 4-2-8：實驗組與對照組科學探究能力實作評量前後測主面向得分差異得分的曼-惠特尼 U 考驗摘要表	53
表 4-2-9：學生科展作品評分與科學探究能力實作評量後測得分表	54
表 4-2-10：實驗組與對照組學生科展作品評分的魏氏-曼-惠特尼 U 考驗摘要表	55

表 4-2-11：學生科展作品評分與科學探究能力實作評量後測分數相關性考驗摘要表	57
表 4-3-1：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測誤差相關子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	58
表 4-3-2：實驗組科學探究能力實作評量中測、後測誤差相關子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	59
表 4-3-3：對照組科學探究能力實作評量前測、後測誤差相關子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表	59
表 4-3-4：學生參與科展活動前後在科學探究能力實作評量誤差相關子面向得分差異的曼-惠特尼 U 考驗摘要表	60
表 4-3-5：實驗組學生小組認為誤差相關概念影響來源排序比較表	60
表 4-3-6：對照組學生小組認為誤差相關概念影響來源排序比較表	61
表 4-3-7：實驗組學生針對科學探究能力實作評量中實驗的誤差來源分析	62
表 4-3-8：對照組學生針對科學探究能力實作評量中實驗的誤差來源分析	62
表 4-3-9：實驗組學生針對誤差對科學實驗造成影響的詮釋	64
表 4-3-10：對照組學生針對誤差對科學實驗造成影響的詮釋	64
表 4-3-11：學生實驗小組針對實驗誤差來源處理類型統計表	67

圖目錄

圖 3-2-1：研究流程圖	24
圖 3-3-1：PHET 單擺模擬實驗軟體截圖	26
圖 4-1-1：M2 學生繪製的車子重量與滑行時間實驗折線圖	44
圖 4-1-2：M7 學生繪製的軌道傾斜角度與滑行時間折線圖	44
圖 4-2-1：TEAM1 依實驗結果繪製的折線圖	55
圖 4-2-2：TEAM6 依實驗結果繪製的折線圖	56

第一章 緒論

近十年「以科學探究為核心」已經成為國際科學教育的基本共識(王晶瑩, 2008), 美國《國家科學教育標準》(National Science Education Standards) 中即提到, 發展科學探究教學是提升民眾科學素養的最有效方法之一(NRC, 1996)。我國九年一貫政策中強調能力本位亦即提及科學探究能力的重要性(林建志, 2008), 到十二年國教強調科學探究與問題解決能力的教學(丁亞雯, 2012)。基於上述國內外教育改革的趨勢, 本研究旨在設計出一套適合實際應用於在台灣國民中學教學現場的科展培訓教學模組, 並使用實作評量的方式, 來探討此以科學探究教學導入科展指導對學生科學探究能力之影響所在, 以及探索接受此科展培訓教學模組的學生在國中校內科學展覽(Science fair)活動之表現。本研究以接受研究者設計之科展培訓教學模組之 11 名台北市某國中七年級學生為實驗組, 實驗組學生於接受科展培訓教學模組後參與校內科展競賽; 另取樣 11 名未接受科展培訓教學模組但有參加校內科展競賽之七年級學生為對照組, 藉由實作評量、科展歷程記錄、長期追蹤紀錄、晤談等方式來了解本研究所設計之科展培訓教學模組是如何提升學生探究能力和科展表現。本章針對研究動機與背景、研究重要性、研究問題、名詞釋義等做詳細說明。

第一節 研究動機與背景

面對我國教育政策的劇烈變動, 從「九年一貫」到「十二年國教」, 由科學家的菁英式教育轉變為培養全民科學素養之取向(劉俊庚、邱美虹, 2012), 可知現代的科學教育已從傳統的強調精熟學習, 朝向偏重培養科學素養、科學興趣以及科學探究能力等多元面向的學習。在教育部公布的國民中小學九年一貫課程綱要「自然與生活科技領域」中, 即提到教學應以學生活動為主體, 引導學生進行科學探究, 並依照解決問題(problem-solving)流程進行設計與完成專題(教育部, 2003)。而在美國, 不論是美國科學促進協會(American Association for the Advancement of Science, 簡稱 AAAS)提出的 Project 2016 或是美國國家科學研究委員會(National Research Council, 簡稱 NRC)提出的《國家科學教育標準》均強調科學本質與科

學探究能力培養的重要性(Gess-Newsome, 2002)。在國內外的教育變革中，皆越來越強調科學探究的重要性。

我國國立臺灣科學教育館自民國 49 年起承辦全國中小學科學展覽會(簡稱全國科展)，至今已施行五十餘年，提供教師與學生一個能進行科學探究的機會與環境，學生能由實際學習與生活過程中發現問題，並透過實驗設計、操作實驗、分析數據、獲得推論等一系列的科學探究活動，與現今課程的實驗活動有極大的不同。旨在激發學生對科學研習之興趣與獨立研究之潛能、提高學生對科學之思考力與創造力、改進中小學科學教學方法及增進教學效果(徐國士，2001)，國立臺灣科學教育館也自民國 71 年起從全國科展中遴選學生代表參加美國國際科技展覽會(International Science and Engineering Fair, 簡稱 ISEF)，於民國 80 年開始科教館單獨辦理「參加國際科學展覽活動」國內選拔賽。

Rillero (2011)指出科學展覽可以讓學生有興趣的題目著手研究，他們可以更深入的了解科學研究是如何進行，並提高探究技能。科學展覽是探究學習活動中最常見的開放式探究活動(鍾一華，2012)，然而教師引導學生參與科展的實際執行面會遭遇許多問題與困擾，例如：教師專業知能是否足夠、時間分配、學生遭遇問題教師扮演角色等問題(徐佳璋，2007)。葉世榮與曾正宜 (2003)針對歷屆高中生生物科科展得獎作品進行分析，發現科展作品常有動機論述不足、數據處理不當、數據解釋與推論不分等問題，並依據作品分析結果撰寫給參與科展師生的參考手冊。Gomez (2007)的研究則發現，在科展活動背景的教學中，教師必須引導學生進行科學上的討論，學生才會較容易從討論中獲得科學概念以及連續性的科學理解。由上述學者研究可知教師適度且適時的引導在學生參與科學展覽過程是必要的，因此研究者企圖配合目前國中僅有少數的彈性課程，試圖設計出導入科學探究教學於科展指導中，以及觀察學生在完成科展過程，在科學探究能力的發展情形。

第二節 研究重要性

在近期國內科展相關學術研究中，多數研究聚焦於以下三方面：(一)學生科展活動歷程分析，即針對學生在科展活動進行中問題發展(顏瓊芬、黃世傑，2003；李明昆與洪振方，2011)、互動模式歷程(顏瓊芬、黃世傑，2003)、科學態度與技能(嚴婉尹，2008)等不同面向的探討；(二)教師教導學生進行科展活動，此類多為教師帶領學生進行科展的個案研究，且多針對資深或績優教師的引導方式進行探討(鄭英耀、李育嘉與劉昆夏，2008；張可彤，2008；江良捷，2010)；(三)影響學生參加科展表現其他因素分析，除了探討學生本身能力與特質外，亦探討家長支持度、學校設備支援、指導教師人格特質等其他因素對學生科展活動歷程的影響(鄭英耀、王文中，2002；陳振明，2003；徐佳璋，2007)。

不少研究者指出進行科展是實施探究教學的最佳方式，國內有眾多學者進行科學探究方面的研究，然而探討學生科學探究能力與科學展覽之間關係的研究卻少之又少，而這些少數研究中又多只著重於學生科學探究能力對科展活動的影響，或是科展活動的影響如何增進學生的實驗技能或探究技能，極少討論到如何透過科學探究教學來培育學生參加科展所需的能力。然而，學生進行科學展覽活動時，容易因為學生先備知識不足、教師介入程度以及教學時間不足等緣故，導致科展經驗對學生而言僅增強學習動機，但對於其科學概念或實驗設計能力並無明顯的提升(陳均伊，2010)。再者，複雜的實際實驗狀況和結果，因為誤差來源眾多或不易控制反而為學生帶來的可能是困惑而非學習(Klahr & Nigam, 2004)。因此，本研究冀望透過文獻評析整理出學生面對科展活動或是進行科學專題應具備的能力，設計一套適合國內教育現況與學生的科學探究教學模組，並導入於科展培訓過程，經由追蹤和分析過程中學生的探究能力發展情形。

第三節 研究問題

由於科學探究的面向頗為廣泛，本研究因受限於教學現場時間與空間的限制，且因為預計採用實作評量的質性研究，僅選取較合適於本研究所選取研究對象的面向進行探討和資料收集。在蒐集國內外相關文獻作為理論依據時，發現國內外學者在探討學生在進行實驗的表現時，多是針對學生的控制變因能力。然而在科學實驗中，如何去設計實驗並操作實驗減少實驗誤差，以及在實驗結果中對實驗誤差的詮釋等往往是決定實驗品質的關鍵，也是科展評分的關鍵之一。在《國民中小學九年一貫課程綱要》自然與生活科技學習領域中，科學過程技能基本能力指標也有兩個細項涉及了實驗誤差對於科學實驗的重要性，分別為：「1-4-2-2 知道由本量與誤差量的比較，瞭解估計的意義」以及「1-4-2-3 能在執行實驗時，操控變因，並評估「不變量」假設成立的範圍」(教育部，2003)。而美國科學促進協會(AAAS)於1967提出的SAPA課程中描述了對於科學過程技能的分類，課程中提出八項基本科學過程技能：觀察、分類、測量、應用時空關係、應用數字、傳達、推理、預測；以及五項統整過程技能：變因的控制、解釋資料、形成假設、操作型定義、進行實驗(引自Jaw, 2006)。其中對於測量(Measuring)的敘述為：能運用感官或基本工具來進行觀測並瞭解估計值、平均值、誤差值的意義。也說明了誤差的控制與詮釋在科學探究過程中的重要性，基於上述原因，本研究問題有二：

1. 觀察學生接受科展培訓教學模組前後，科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？
2. 探討接受科展培訓教學模組學生與沒有接受科展培訓教學模組學生，在參與科展活動前後科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？

本研究問題先進行科學探究相關文獻和國內科學展覽相關的閱讀與分析後，據此為理論基礎來設計一套以引導國中生參與科學展覽為情境的科展培訓教學模組，並且發展出一份科學探究能力實作評量並蒐集質性資料對學生學習成效進行評估。於科展培訓教學模組實施前後施測，並追蹤學生後續參與科學展覽的表現。此外，亦針對參與科展培訓與未參與科展培訓的兩組學生在科學探究能力及對於誤差控制及認知差異進行探討。

第四節 名詞釋義

與本研究重要相關名詞定義，分述如下：

一、科學展覽(Science fair)

科學展覽是指透過競賽的方式，讓學生透過展示板、模型展、書面或口頭報告展示他們的科學研究成果。目標在於激發學生對科學研習之興趣與獨立研究之潛能提高學生對科學之思考力、創造力，與技術創新能力(教育部，2002)。我國全國科學展覽，自民國四十九年起由國立臺灣科學教育館承辦全國中小學科學展覽會，迄今每年參加科展的各級學校作品已超過 1 萬 5,000 餘件，經初選參加地方展覽的作品亦超過 5500 餘件，每年投入科展研究行列之師生多達 10 餘萬人，影響所及極為廣泛(徐國士，2001)。

二、科學探究

美國《國家科學教育標準》(National Science Education Standards)中指出，科學探究是科學家們研究自然現象，並依據研究獲得的證據提出各種解釋的多樣性過程。科學探究也是學生們用來發展學科知識，獲得科學概念，體悟科學家們研究自然界的方法所經歷的歷程活動(Science, Mathematics, & Inquiry, 2000)。科學探究活動可以包含發現問題、決定研究題目、收集資料、提出研究假設、設計實驗、進行實驗、處理研究資料數據、解決問題與獲得結論等過程，科學展覽與科學專題研究包含著科學探究的精神，然而科學探究所涵蓋的層面更為廣泛。

本研究依據美國奧勒岡州教育部門 (Oregon Department of Education, 2002) 建立科學探究的評分準則，將科學探究能力分為：「形成問題或假說」、「設計研究」、「蒐集並呈現數據」、「分析並解釋結果」等四個能力面向，並分成「應用科學知識」、「溝通與表達」、「科學探究本質」三個層面，產生十二個分項。本研究即依據此十二分項建立科展培訓教學模組設計，以及探討學生在接受課程前後以及參與科學展覽前後四個能力面向的表現與發展

三、科學探究教學模組

教學模組是一個主題式教學的教案，或稱之為一個「大單元教學計畫」(陳文典，2002)。在教學模組裡，強調教師教學的主導性及學生學習的主體性，因此教

師可由教案中擷取或改裝部份的教材內容、變換執行的方式，並不一定要全盤依據教案進行教學(黃茂在、陳文典，2000)。本研究設計之科學探究教學模組為一針對科展所需科學探究能力設計之教學模組，教師可以依據學生學習背景與學習能力，在依循教學模組的教學目標下，進行單元主題的更換。

四、實作評量 (performance assessment)

實作評量為另類評量(alternative assessment)的一種，是指根據學生實際執行一項教師指定之特定任務或表現所作的評量(盧雪梅, 1998)。評量題目可以是口頭報告、科學實驗、儀器操作、寫作等。實作評量可做為評估學生的學科性知識和程序性知識以及他們使用這些知識的推理和解決問題的能力的一種手段(Harmon et al., 1997)。現今多數的科學探究相關研究所使用的評量仍以紙筆測驗為主，然而有學者指出使用強調真實性與綜合性能力評估的實作評量，更能顯現出學生在科學探究中不同面向的能力發展(楊進忠，2004；魯俊賢與吳毓瑩，2007)。

五、誤差

實驗上的誤差一般可以分為系統誤差(systematic error)以及隨機誤差(random error)(Bevington, 1994)，造成系統誤差的可能原因為測量工具本身精確度造成的誤差、外在環境對實驗結果造成的誤差或是操作方法不熟練或錯誤上造成的人為誤差，而隨機誤差則是在測量上因為不易控制或是無法控制的小變因造成測量值產生隨機的分布的誤差(黃福坤，2004；李中一，2004)。

第二章 文獻探討

本研究目的之一為設計出一適合在台灣國民中學進行之科展培訓方式，實際應用於教學現場。並使用實作評量的方式，探討學生接觸課程前後科學探究能力之形成。針對研究所需的理論依據，依「科學探究」、「科學探究教學設計」、「科學展覽對學生科學探究的影響」、「科學探究能力的評量」四個主題進行介紹。

第一節將論述科學探究的概念型定義以及操作型定義，分析科學探究的意涵以及具有的面向。第二節介紹國內外研究學者進行科學探究教學設計探討，評析這些教學設計使用的教學策略、教學方法、教學模式，以及教學成果，論述這些教學設計對本研究的啟發。第三節論述科學展覽對學生科學探究能力的影響，評析各種研究方法在這些研究主題上的應用；第四節介紹不同研究者設計之科學探究能力評量，基於這些文獻探討發展出適合本研究的科學探究能力實作評量。

第一節 科學探究

探究在科學教育中甚早即被重視，Schwab (1962)提出科學探究可透過五個步驟來進行：1.觀察自然現象；2.提出假說；3.定義控制變因；4.進行實驗以驗證假說；5.推廣。Trowbridge & Wbyee (1986)則提出「探究是確定研究問題、描述假說、設計實驗方法、收集數據、作結論等一系列的過程(引自郭幸宜、趙大衛、黃台珠，2003，頁642)。」美國國家科學研究委員會(NRC)在《國家科學教育標準》中六個教學標準中，第一個標準即為科學探究取向課程標準，當中並指出「探究是具有多面向的科學活動，包括觀察、定義問題、驗證書本理論、瞭解已知知識、計畫活動、重複檢驗實驗數據、使用工具收集資料與分析、對資料進行詮釋與結論，學生從一系列的活動主動發展對科學的理解(翻譯自NRC, 1996, p.23)」並且提到，應該提供機會給學生進行完整探究(full inquiry)以及部份探究(partial inquiry)。「完整探究即是找出問題、設計研究、收集證據、找出原始問題的答案，並且溝通研究過程和結果。部份探究則是所選定探究過程，學生在過程中發展能力以及瞭解這些過程(引自莊創期，2003，頁9)。」由上述內容可以發現，科展即是由學生自行由實際學習與生活過程中發現問題、決定研究題目、收集資料、提出研究假設、

設計實驗、進行實驗、處理研究資料數據、解決問題進而獲得結論，足見科展實為一良好的科學探究活動。

美國奧勒岡州教育部門（Oregon Department of Education, 2002）提出針對科學探究能力評分指標(Scientific Inquiry Test Scoring Guide)中，將科學探究的過程分為：「形成問題或假說」、「設計研究」、「蒐集並呈現數據」、「分析並解釋結果」等四個能力面向，並分成「應用科學知識」、「溝通與表達」、「科學探究本質」三個層面，產生十二個分項。例如：針對 6~8 年級在「蒐集並呈現數據」評分指標，將學生在該項目具有的能力分為四個評分標準等級。等級最高的學生應能進行收集與計劃有關的詳細數據、仔細而有組織的處理數據，並註明數據精確的程度，選擇適當呈現顯示數據的方式，並提出支持關係的解釋；中間等級的學生具有的特性則是收集數據與計劃的調查僅有部分的一致性，並且以不一致或雜亂無章的方式記錄並呈現相關數據；等級最低的學生則有記錄無關的或不準確的數據，以及呈現不完整或無序的數據的特徵(陳名銜，2005)。此指標中關於學生對於實驗誤差的處理與如何詮釋相關數據，即是本研究關注的重要能力。

NRC 在 2000 年提出的《探究與國家科學教育標準》(Inquiry and the National Science Education Standard)說明，5 到 8 年級的學生應具備的科學探究能力包含確定可以通過科學調查回答問題、設計和進行科學實驗、使用適當的工具和技術去分析和解釋數據、發展假說解釋與預測以及使用證據的模型(Model)、批判性的思考和邏輯、詮釋證據和解釋之間的關係、分析可能的解釋和預測、科學溝通的程序和解釋、以及使用數學在科學探究的各個面向。

國內學者高慧蓮(2005)將科學探究能力定義為界定問題的能力、設計規劃的能力、實作驗證的能力、分析解釋的能力、溝通辯證的能力等 5 個面向。吳坤璋、吳裕益與黃台珠(2005)則認為科學探究能力應該分成「科學探究思考能力」以及「科學探究過程能力」來區分討論，科學探究思考能力包含推論、批判、思考三層面；而科學探究過程能力則包含觀察、分析、轉化三層面。分析上述科學探究能力相關文獻，研究者選擇以美國奧勒岡州教育部門的科學探究能力十二分項作為本研究界定科學探究能力參考依據，理由原因有二：(一)涵蓋層面廣泛，從問題形成到結果檢視及評估皆在界定範圍內；(二)面向敘述較為具體，且能對應在科學展覽製作過程內。茲將本節提及各學者定義科學探究能力對應關係整理如表 2-1-1 所示。

表 2-1-1：科學探究能力包含面向相關研究列表

美國奧勒岡州教育部門 (2003)		NRC (2000)	高慧蓮 (2005)	吳坤璋、吳裕益 與黃台珠(2005)
形成問題或假說 (F)	F-a.概念的運用 F-c.問題的形成 F-n.問題的科學性	發展假說解釋與預測 確定可以通過科學調查回答問題	界定問題	觀察、思考 分析
設計研究 (D)	D-a.變因的控制 D-c.步驟的設計 D-n.資料的合宜性	設計科學實驗	設計規劃	觀察、思考 分析
蒐集並呈現數據 (P)	P-a.數據的記錄 P-c.數據的呈現 P-n.數據的轉換	進行科學實驗 使用適當的工具和技術去分析 使用證據的模型	實作驗證	分析、轉化
分析並解釋結果 (A)	A-a.對結果的詮釋 A-c.對主題的討論 A-n.檢視及評估	詮釋證據 分析可能的解釋和預測	分析解釋 溝通辯證	思考、分析 推論、批判

第二節 科學探究教學設計

本節分成科學探究教學的原則、國內科學探究教學研究評析以及以實驗為教學情境的科學探究教學三部分，詳述如下：

一、科學探究教學的原則

Schwartz, Lederman 與 Crawford (2004)認為學生容易缺少正確的科學本質認識，其原因可能來自於缺少科學實作經驗，因此，透過探究活動融入在科學教學中，可以幫助學生對科學本質的體認。Schwartz 等人提出在科學探究課程設計上應該要注意的幾個面向問題：(一)內隱或外顯的教學方法—教師選擇將教學意圖隱藏在探究活動中，或是藉由討論和引導將科學本質加以外顯；(二)探究為基礎的課程—從過往的教學研究發現內隱式教學成效往往較差；(三)教師的科學探究經驗也會影響到學生對於科學探究的認知與教學活動的成敗；(四)科學探究應是在真實情境下進行活動，藉由教學者的引導讓學生進行實際的實驗研究。由上述四點可知，教師知能與教學設計在探究教學中扮演了重要的角色。在進行學生專題研究引導時，教師可設計科學探究教學模組，並根據教師風格、學生學習狀況、教材選擇、現有教學資源等因素採用不同的教學策略，以配合各種環境下的探究教學(Keys & Bryan, 2001)。Colburn (2000)指出，科學探究活動並非是均一化地被創造，它可以分做四種形式：結構化探究(Structured inquiry)、指引式探究(Guided inquiry)、開放式探究(Open inquiry)、學習環(Learning cycle)，在開放式探究中，學生必須要進行研究設計並選擇實驗程序，並在老師批准後進行實驗並下結論，科展活動的歷程正符合開放式探究活動的性質，然而在先前的培訓教學中，可以引入不同層級的探究教學。

表 2-2-1：Colburn 的四種科學探究活動形式

科學探究活動形式	說明
結構化探究 (Structured inquiry)	教師給予學生指令化的步驟，包含設計好的實驗變因與圖表格式，學生紀錄他們所觀察到的。
指引式探究 (Guided inquiry)	給予學生實驗所需材料，並給予第一部分實驗的指示。確認學生完成第一部分的實驗，再給予後續實驗內容的提示。
開放式探究 (Open inquiry)	給予學生實驗所需材料，僅告訴他們實驗目的是探討那些變因之間的關係，學生須自行設計實驗。
學習環 (Learning cycle)	學生依循引導完成實驗，教師參與實驗結果討論。並給予可以應用這些結果與討論的新情境題目。

二、國內科學探究教學研究評析

國內有眾多學者試圖過將探究教學融入我國教育現場，觀察學生在科學探究能力中有哪些面向的改變與成長。洪振方(2010)建構思考導向的探究式學習模式課程並設計科學探究能力量表，蔡執仲、段曉林(2009)建構巢狀探究教學模式課程並且設計科學學習動機量表，對本研究教學設計的影響是，以上兩個研究皆透過比較實驗組和對照組來驗證探究教學模式優於傳統教學。顏瓊芬與黃世傑 (2003)讓25位職前生物教師進行開放式探究實驗，讓受試者進行合作學習以及在真實科學家進行研究的情境下進行學習，觀察學生互動模式。林建志(2008)透過具有誤差值回饋實驗軟體與實際操作實驗來進行科學探究教學，並利用理論值回饋軟體教學作為控制組，觀察學生在教學活動中實驗操作能力、實驗測量準確度、科學態度對實驗操作的喜好程度的改變。茲將四份研究整理如表2-2-2所示，這些研究對本研究設計之科展培訓教學模組與研究工具的發展的啟發為：(一)將探索、解釋、交流及反思等科學探階段階段融入不同的思考策略，並進行明示教學；(二)參考這些研究提出的課程設計修改成適合本研究研究對象的課程內容；(三)在課程活動中使用小組合作學習模式，營造接近科學展覽活動情境；(四)利用模擬實驗與真實實驗獲得實驗結果的差異比較，使學生獲得實驗誤差與控制誤差的相關科學概念。

表 2-2-2：4 組國內學者進行科學探究教學研究之比較

研究面向	研究者	設計課程	課程要素	研究對象	研究時間	研究工具	對本研究啟發
探究教學 模式	洪振方(2010)	思考導向的探究 式學習模式	探索、解釋、交流、 反思的明示教學	國中八年級學生： 實驗組 5 班 172 人 對照組 5 班 172 人	一學期	科學探究能力測驗	課程明示教學 課程設計
	蔡執仲與 段曉林(2009)	巢狀探究教學模 式	參與、探索、解釋、 精緻化、評鑑五階段	國中八年級學生： 實驗組 5 班 155 人 對照組 5 班 140 人	一學期	科學過程技能測驗 科學學習動機問卷	課程設計
探究實驗 技能	顏瓊芬與 黃世傑(2003)	生態學專題研究 的實驗課程	合作學習 真實的科學家進行 研究的情境	無對照組 25 位職前生物教 師	一學期	實驗心得反省報告 每週進度報告 專題研究問卷 上課錄影及錄音 師、生晤談錄音帶	學生小組互動的 紀錄與分析
	林建志(2008)	模擬實驗後進行 真實實驗的實驗 課程	誤差值回饋軟體 理論值回饋軟體	無對照組 25 位職前生物教 師	未說明	電學實驗能力評量 實驗學習單 電學實驗態度問卷 半結構式晤談	將誤差的討論帶 至課程中 模擬實驗與真實 實驗的設計

三、以實驗為教學情境的科學探究教學

探究教學除了能培養學生具有基本的科學技能與知識外，亦能達到培養學生具有批判性思考、問題解決、觀察自然現象以及提升科學素養等教育目的，而學生探究的成果除了以紙筆測驗外，亦可透過口頭及寫作的方式展現；教學的場域同時可在「實驗室」與「課室」場景中實施(蔡執仲、段曉林，2005)。由此可知，實驗活動在科學探究教學過程中是不可或缺的部分。然而目前國內科學實驗課程，幾乎是食譜式實驗，並沒有探究與創造力的實驗課程，學生無法體驗科學探索的樂趣(曹淇峰 et al., 2009)。Newsome(2002)提出數種提升學生科學本質與科學探究的科學教學法，其中之一是以單擺實驗為主題，利用擺放位置(擺角)、擺重以及擺長等不同變因進行分組，詢問學生在 15 秒內擺動次數長短與變因之間的關係，得到相同時間內擺長越長、擺動次數越低的結論。Windschitl, Thompson 與 Braaten (2008)在涉展類似以單擺為主題的課程則提出在探究時教師所引導的流程：(一)提示我們那些是我們知道的？那些是我們想知道的？(二)產生可測試的假說；(三)尋找證據；(四)架構出討論。

實驗情境常應用在科學探究活動過程，然而真實操作實驗往往費時且教師不易管理。Limniou(2009)指出數位虛擬實驗具有讓學生可以迅速收集實驗數據，進行驗證或否決假說的優點。陳素芬(2010)針對 5 個科學教學網站中 233 個虛擬實驗室(virtual laboratory)網頁進行分析，發現 80%的虛擬實驗室是理想狀態，也就是不考慮阻力與摩擦力的狀況，而 99%的虛擬實驗室不要求學生去思考誤差來源或是誤差在實驗設計上的考量，陳素芬並指出非擬真的虛擬實驗會讓學生喪失發展部分物理探究學習能力的機會。近期一些虛擬實驗則試圖將誤差來源融入當中，例如 Tłaczala(2006)等人設計出考慮溫度對電阻造成影響的虛擬電路設計界面，使學生在操作上更接近現實。

綜合上述相關文獻探討給本研究的啟發有以下五點：(一)科學探究教學應以明示教學為呈現方式—眾多科學探究教學相關研究皆顯示出明示教學優於內隱教學，尤其在明示教學可增強學生科學探究時的後設認知能力。探究的明示教學有兩種方式：一是提供學生程序性的科學探究背後的思考策略，另一則是提供學生科學思考背後的思考策略，也就是探究的後設認知(洪振方，2010)；(二)設計可涵蓋科學探究過程與能力的教學模組—AAAS (1967)提出的SAPA 課程包含八項

基本科學過程技能以及五項統整過程技能被廣為接受(Jaw, 2006)，本研究並配合美國奧勒岡州教育部門提出科學探究能力評分指標，將科學探究的能力分為：「形成問題或假說」、「設計研究」、「蒐集並呈現數據」、「分析並解釋結果」等四個能力向度，作為一學期課程設計的主要脈絡；(三) 著重設計實驗與實驗數據處理的培養課程—黃福坤(2004)指出「一般學生在實驗操作過程中若出現測量誤差過大之情形會直接修改數據，或歸咎於儀器損壞及測量儀器不夠精準，而忽略了實驗過程中可能的系統誤差(systematic error)與隨機誤差(random error)等因素(取自<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=Notes/dataProcess>)。」，學生對於實驗誤差在實驗上扮演的角色往往不是忽略就是認為是無法避免也無法控制的，因此必須在課程上強調對實驗誤差的認知；(四) 質性研究的工具發展—質性研究需要多方面的研究工具才能確保研究資料以及結論的可靠性，質性研究工具包括受試者學習紀錄、實作檢核表、錄影、錄音、問卷、晤談等方式，藉由適當的編碼方式將不同的資料經三角校正後獲得具體結論；(五) 學生的學習來自多個面向—綜合上述研究，學生對於科學探究能力的獲得可能來自於教師的引導、探究實驗設計與操作、與小組成員的對話、與其他小組成員的辯護與闡明自身想法等，探討學生科學探究概念的形成機制也是本研究的重要問題之一。

第三節 科學展覽對學生科學探究的影響

在參與科學展覽對學生學習影響的研究中，以探討學生科學本質的了解與科學態度為最多，進行科學展覽與學生科學探究能力相關的研究甚少。尤其學生參與科學展覽是一個讓學生經歷「做科學」(doing science)的過程，不同於教室內學生都是由教師身上獲得的多是第二手知識，科學展覽給予學生的探究經驗在學生包含：設計研究問題、概念化一個適當的實驗計畫、連結資料、組織資料使其有意義、對他人報告結果等歷程。比起傳統的教學，科學展覽的參與可以使學生得到更多問題解決的學習機會，並且從這些機會獲得科學探究技能 (McComas, 2011)。

Akinoglu (2008)調查土耳其 100 位六年級到八年級有過科展專題研究相關經驗的學生進行調查，發現學生仍相當依賴老師，有 36%的學生認為在如何準備研究主題上教師並不顯得非常有知識，佔分析專題研究不足之處項目中最高比例，研究過程遭遇困難中的比例最高的是「不知如何與老師溝通」，佔 35%。僅有 17%的學生在調查中表示在科學專題活動後學習到如何完成一項科學性任務，27%的學生認為他的探究技能在活動後有所提升。Akinoglu 的研究可以發現學生在開放性的科學探究活動過程中仍過度依賴教師，而在學生能力不足的狀況下，透過指導發展學生科學知識與研究相關技能是教師不可迴避的問題。

Kyriazi 與 Constantinou (2004)針對學生參與科展前後繪製圖表能力的改變進行研究，研究對象為 35 位塞爾維亞 5 年級的學生，設計四個繪製圖表的問題並在學生參與科展前後進行前測與後測。研究結果發現學生在繪製直方圖與折線圖的能力皆有顯著提升，Kyriazi 與 Constantino 也提出他們的研究可以與其他科學探究技能的關聯度做連結上的研究，例如解釋圖表。

彭天音(2010)利用 2006-2009 年參與台北市氣象探究網路競賽共 169 組學生，探討網路科展競賽中學生科學探究能力的表現情形，以及對學生科學探究的信心和學習態度對探究能力表現的影響、教師對科學探究教學的看法對學習科學探究能力表現的影響等問題。彭天音的研究建議在類似於科展活動進行前，可先利用一段時間讓學生了解探究歷程所需運用到的相關能力，才能針對不同學生成熟度與預備度的差異部份事先準備。這與本研究的研究動機相契合，由於科展活動中每組學生的研究問題不同、所需相關科學知識與實驗技能也不同，因此活動前的

適當教學有助於減少學生在進行專題研究時遇到過多或不必要的困難與挫折，而無法從研究中獲得學習。

嚴婉尹(2008)以基隆市國中生為母群，隨機取樣法抽取六所國中，再以叢集取樣法抽取 633 位學生為樣本，進行「科學過程技能」及「科學探究歷程」測驗。結果發現：有科展經驗學生多數的過程技能優於無科展經驗學生，有科展經驗學生在「觀察」、「應用時間空間之關係」、「應用數字」、「測量」、「控制變因」、「解釋資料」、「下操作型定義」、「形成假說」與無科展經驗學生有顯著差異。此外，無科展經驗學生較容易有迷思的科學探究歷程，嚴婉尹的研究並發現無科展經驗學生較容易有錯誤的科學探究流程認知，上述研究討論可以作為本研究在觀察學生科展活動時，應該注意學生活動面向的討論，並作為本研究研究結論的理論支持。

綜合上述國內外學者針對科學展覽對於學生科學探究影響研究的比較，以及與本研究的關聯性以表 2-3-1 呈現。這些研究可以分為兩大類：一為對學生科學態度的影響，一些研究透過問卷與半結構式晤談探討學生在參與科學展覽對於學生科學態度的影響；二為對學生科學探究能力的影響，探討參與科學展覽前後學生科學探究能力的改變。本研究研究問題較偏向後者，著重在學生接受科展培訓教學模組與參與科展前後科學探究能力的改變。

表 2-3-1：國內外學者針對科學展覽對於學生科學探究影響研究比較

研究面向	科學探究能力		科學學習態度	
研究者	Akinoglu(2008)	Kyriazi & Constantinou (2004)	彭天音(2010)	嚴婉尹(2008)
研究對象	100 位 6~8 年級學生	35 位 5 年級學生	2009 年 51 組參與台北市氣象探究網路競賽學生	隨機取樣 633 位基隆市國中學生
研究工具	半結構性晤談	4 題繪製圖表技能測驗	科學探究信心量表 半結構性晤談	科學過程技能測驗 科學探究歷程測驗
研究工具性質	研究者依晤談內容將學生歷程特徵分類	實作技能評量	5 等第態度問卷，整體研究工具量化為主質性為輔	紙筆測驗式題目，包含選擇題與配合題
研究問題	學生研究歷程特徵與參與研究前後科學態度變化為何	參與科展對學生繪製圖表技能之影響為何	參與競賽前後學生對科學探究信心、學生自然科學態度變化為何	有無參加科展經驗學生在科學過程技能與科學探究歷程表現之差異為何
研究性質	質性研究	質性研究	量化研究為主，質性研究為輔	量化研究
與本研究關聯性	半結構式晤談的問題設計	包含多個科學探究面向的實作測驗選擇與設計	半結構式晤談的問題設計	科學過程技能與科學探究歷程應包含的面向

第四節 科學探究能力的評量

美國奧勒岡州教育部門提出的科學探究能力評分標準(Oregon Department of Education, 2002)，將科學探究的四個「形成問題或假說」、「設計研究」、「蒐集並呈現數據」、「分析並解釋結果」等四個能力向度，每個面向分為4個等級(0~3分)，並建立評分準則。以「分析並解釋結果」為例，3級分代表學生達到：(一)能用科學概念、模型以及術語來呈現報告結果、討論；(二)明確地確定變量因，並知道實驗的邊界條件與誤差來源；(三)提供一個可以蒐集出色質與量資料的科學研究設計，並用以解決問題或假設。1級分則代表學生：(一)提出不合邏輯或有重大科學錯誤的科學程序；(二)變數和變因控制可能呈現出，但未進行定義；(三)設計一缺乏必要資源與技術的科學研究設計。

誠如本章第一節文獻評析可見科學探究涵蓋面向相當廣泛，科學探究過程也包含「觀察」、「發現問題」、「提出假設」、「提出可能預期結果」、「設計實驗」、「結果分析」、「發展理論」等步驟(樊琳、李賢哲，2002)，因此使用傳統的紙筆測驗無法適切地配合本研究欲探討的學生科學探究能力。實作評量也稱為真實評量，實作評量可以讓教師瞭解學生對問題理解程度、投入程度、解決問題技能和自我表達能力，能夠較完整的反映出學生的學習結果(盧雪梅，1998)。因此本研究採用實作評量做為測試學生科學探究能力的主要研究工具。但實作評量所帶來的成效並不是自動發生，必須經過嚴謹的計畫、實施和運用，才會達到實作評量使用的目的(盧雪梅，1998)。

徐怡詩與王國華(2003)以國小五年級學生為研究對象，進行「校園植物檢索表」、「光的反射與平面鏡」與「探索花的構造」三個主題的實作評量，並且捨棄評分表改用每單元有各自適用的檢核表作為評分依據。高慧蓮(2006)將探究能力分為界定問題的能力、設計規劃的能力、分析解釋的能力、實作驗證的能力、溝通辯證的能力等五種能力，評量方式以透過學生學習單回答問題為依據，並以 Schwab (1962)的科學實驗活動的層次為依據，依學生回答問題狀況給予0分~3分四個等第，以界定問題的能力為例：0分代表沒有提出任何問題或提出與情境或探究主題無關的問題；1分代表只提出所觀察之現象而無法根據現象轉換成可探討性問題；2分代表透過所觀察的現象而提出無延伸性的問題；3分代表能觀察現象並能「組織」、「分類」或「比較」等，進而提出延伸性可探討性問題。宋雅鈴(2009)

將科學探究能力分為「觀察」、「假設」、「實驗」、「資料搜索」四個面向，設計生物科遊戲實驗模型，讓學生藉由操作實驗的歷程記錄，每一面向有三等第的分數區別。Kyriazi 與 Constantinou (2004)選用實作評量作為研究工具，但只著重在學生將數據繪製成圖表能力的探討；嚴婉尹(2008)以紙筆測驗為研究工具，與多數受試者沒有進行晤談，但科學探究能力研究層面較為廣泛。

綜合上述國內外學者科學探究評量設計性質的比較(如表 2-4-1 所呈現)，過去的研究教多採用紙筆測驗或量表等工具來評測學生科學探究能力，基於本研究設計科展培訓教學模組與探討科學探究能力面向均以奧勒岡州教育部門界定的科學探究能力面向為由，本研究採用科學探究能力實作評量作為主要工具，針對形成問題或假說、設計研究、蒐集並呈現數據、分析並解釋結果等多個面向作探討。這些研究對本研究的啟發還包括設定課程與實作評量面向準則，並綜合實作測驗報告與錄影作為評分依據，以及綜合檢核表與不同級分的特性，以 0 分、1 分、2 分作為實作評量評分級距，並佐以研究者從旁紀錄與晤談補充資料的完整性。

表 2-4-1：4 組國內外學者科學探究評量設計之比較

研究者	奧勒岡州教育部門 (2002)	Kyriazi & Constantinou (2004)	徐怡詩與王國華(2003)	高慧蓮 (2006)	嚴婉尹 (2008)	宋雅鈴 (2009)
科學探究面向	形成問題或假說、設計研究、蒐集並呈現數據、分析並解釋結果	僅探討圖表繪製能力	無說明	界定問題、設計規劃、分析解釋、實作驗證、溝通辯證	SAPA13 項科學過程技能	觀察、假設、實驗、資料搜索
施測對象	7~9 年級學生	5~6 年級學生	國小 5 年級	國小中年級	7~9 年級學生	國中 7 年級學生
評分工具	準則中建議教師可以報告、實驗錄影、錄音、教師觀察為依據	四題繪製圖表能力實作評量	檢核表	學習單	科學過程技能測驗 科學探究歷程測驗	模擬實驗軟體操作歷程

第三章 研究方法

本研究為混合方法設計研究法，採用便利取樣。研究對象分為接受本研究設計之科展培訓教學模組並參與研究者任教學校校內科學展覽者 11 位學生，作為實驗組；另外選取沒有接受科展培訓教學模組但有參與校內科學展覽者 11 位學生，作為本實驗之對照組。本章分為「研究對象」、「研究流程」、「科學探究教學模組設計」、「研究工具」、「資料分析方法」五節作為介紹。

第一節 研究對象

本研究為便利取樣，研究對象為 100 學年研究者任教國中參與科學研究社七年級學生，參與學生經由入社測驗篩選，入社測驗採用紙筆測驗形式，題目包括小學先備科學知識、科學過程技能、科學學習經歷與動機三部份組成。學生大多有良好的學習動機，但在科學實務操作上較少經驗。授課時間為七年級社團時間，一學期有 16 節課，每節課為 45 分鐘至 60 分鐘。社團教學目標為培養學生正確的科學觀、提升學生科學素養與對科學本質的了解以及進行培訓學生科展活動所需的科學探究能力。課程上學期以質性實驗與提升學生科學興趣為主，例如：以光學魔術、降落傘競賽、千人震的製作、以廣用試劑製造彩虹玻璃管等，上學期課程安排如表 3-1-1 所示，涉及科學探究相關的教學活動僅到變因的種類與判斷，這些概念在七年級上學期生物正式課程內也有所提及。

表 3-1-1：研究者與其他同校教師指導校內科研社上學期課程表

週次	授課主題	課程簡述	教學法
1	前測、課程說明		講述教學法
2	趣味實驗－燃燒實驗	從蠟燭燃燒實驗看科學方法	POE教學法 講述教學法
3	丟蛋比賽	蛋如何包裝摔到地上不會破	發表教學法
4	科學書籍網站分享	從科學書籍網站分享學習資料搜索	講述教學法
5	試誤學習－紙飛機	嘗試製作會轉彎的紙飛機並探討會轉彎的原因	合作學習教學法
6	降落傘 (I)	從降落傘談變因分析	講述教學法
7	降落傘 (II)	降落傘實作競賽	發表教學法
8	趣味實驗－彩虹試管	利用不同溶液與廣用試劑配出彩虹試管	合作學習教學法
9	科學魔術、電影漫畫分析、科學書籍分享	電影與書籍中的科學知識分享(老師)	講述教學法
10	科學魔術、電影漫畫分析、科學書籍分享	電影與書籍中的科學知識分享(學生)	發表教學法
11	趣味實驗－萊頓瓶與千人震	藉由萊頓瓶與千人震介紹電學相關知識	探究教學法
12	校外參觀說明	仿生獸的創始者與原理簡介	講述教學法
13	校外參觀	參觀國立臺灣科學教育館與仿生獸展	合作學習教學法
14	趣味實驗－水結成冰的魔術 指定寒假作業	醋酸鈉過飽和溶液 說明寒假作業與細則	探究教學法
15	期末回饋	教師引導學生回顧本學期所學	講述教學法 討論教學法

社團在下學期進行研究者設計的科展培訓教學模組，以科展主題的構想、實驗設計、量化實驗操作為主軸，詳細內容在本章第三節做詳盡介紹。學生在七年級升八年級暑假則開始進行實驗設計討論。這些學生在升八年級剛開學不久(101學年9月份)報名參與該學年度校內科學展覽，授課老師即為「科學研究社」三位社團指導老師，起初從七年級參與課程學生有19位，完成所有課程並參與校內科學展覽者有11位，其中8位為男生(受試者編號M1~M8)，3位為女生(受試者編號F1~F3)。並依後續參與校內科展分為4小組(Team1~Team4)，即為本研究之實驗組；而於同一學期(八年級上學期)報名參與校內科學展覽者中11位未接受科展

培訓教學模組的學生，作為本實驗之對照組，其中 7 位為男生(受試者編號 CM1~CM8)，4 位為女生(受試者編號 CF1~CF3) 同樣在校內科展組成 4 個研究小組(Team5~Team8)。對照組取樣學生的科展指導老師與實驗組三位社團指導老師相同，藉此避免指導老師個人風格對學生科學探究能力發展之影響。學生研究小組研究主題與研究內容如表 3-1-2 所呈現，每一組研究主題中，都有可量化的資料需要取得，確認每一研究小組都有經歷資料蒐集與整理分析的步驟。

表 3-1-2：學生研究小組研究主題

研究小組	小組成員	研究主題	實驗操作變因	實驗應變變因
實驗組				
Team1	F2、F3、M2	影響非牛頓式流體流動因素之探討	溶液濃度、溫度、壓力	溶液流速
Team2	F3、M7、M8	環保燃料於火箭飛行上的應用	氫氣與氧氣混合比例	火箭飛行高度
Team3	M1、M3、M4	火箭外型對其飛行距離、飛行高度的影響分析	水火箭尾翼數量、尾翼角度、火箭箭身長度	水火箭飛行高度與距離
Team4	F1、M5	環境酸鹼性對植物萌芽與生長的影響	溶液與土壤的 pH 值	不同植物萌芽率與生長長度
對照組				
Team5	CM4、CM5、CM6	不同的色光是否會對綠豆的生長有所影響	光照的顏色 光照的多寡	綠豆的發芽率與生長長度
Team6	CF1、CF2	生活上常見溶液對植物行光合作用的影響探討	水耕植物根部浸泡溶液的種類	光合作用產生氧氣速率
Team7	CM1、CF3、CF4	觀察不同方法使過飽和溶液產生結晶時放熱狀況	使醋酸鈉過飽和溶液產生結晶的方法	醋酸鈉過飽和溶液結晶時溶液溫度
Team8	CM2、CM3、CM7	探討不同種類石頭對過濾水的功效差異	石頭的種類	濾液的酸鹼度 濾液的外觀

第二節 研究流程

本研究之研究流程圖如圖 3-2-1 所示，研究時間為 2011 年 11 月至 2012 年 12 月，橫跨兩學期的時間。研究可分為三個階段：(一)準備階段：蒐集研究相關參考文獻，設計一套導入科學探究教學於科展培訓教學模組(在本章第三節中介紹)，以及發展出科學探究能力實作評量並進行預試並修改；(二)實施課程階段：針對實驗組進行科學探究能力實作評量前測，在開始進行科展培訓，結束後進行實驗組的科學探究能力實作評量中測，並比較學生在接受科展培訓教學模組前後在各面向科學探究能力的改變情形。而在同一學期校內科展報名期間選取 11 名學生作為對照組後施以科學探究能力實作評量前測；(三)學生參與科展階段：實驗組和對照組學生於 9-12 月進行科學展覽活動時，以 2~3 位學生為一組，自行選取一科學專題來進行實驗，待 12 月校內科展結束後，針對實驗組和對照組實施科學探究能力實作評量後測以及實驗組各組學生的晤談。並且收集實驗組學生的科展實驗日誌資料等質性資料作為後續分析。

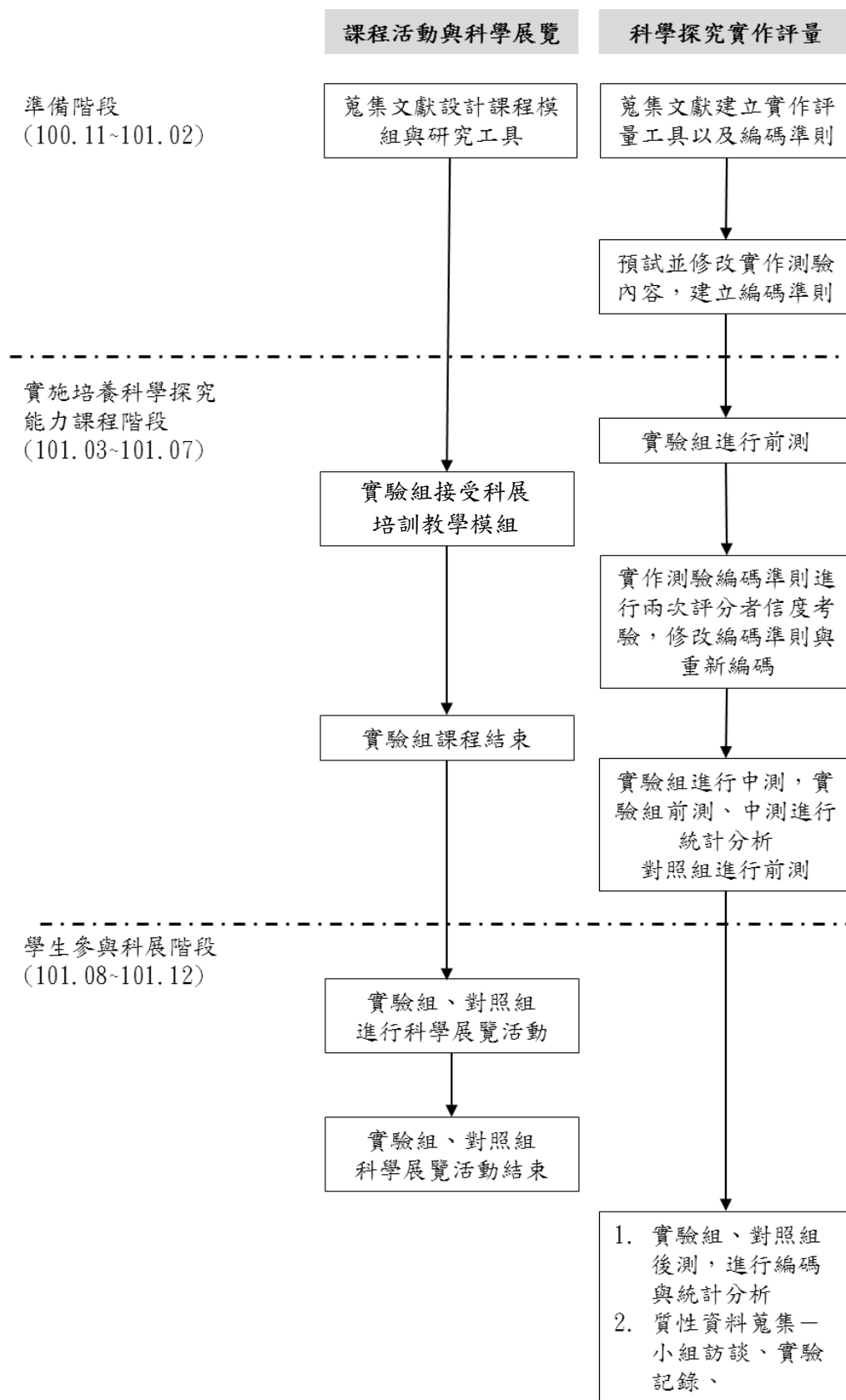


圖 3-2-1：研究流程圖

第三節 科展培訓教學模組設計

本研究設計一學期 16 節課的科展培訓模組以文獻評析結果為基礎，科展培訓教學模組並涵蓋美國奧勒岡州教育部門提出科學探究四個面向、三層次評分指標形成的十二個科學探究能力分項，如表 3-3-1 所呈現。模組實施採用協同教學，由研究者與另兩位同校自然科老師進行教學，三位老師分別屬於物理、化學、生物專業背景教師，學期初教師們共同討論出教學架構，並在上課前一周確認細節。模組以明示教學為主要理念之一，每次學生活動結束之後，教師必定會引導學生討論該節課學習到的概念或經驗所在，鼓勵學生說出自己的想法，再由老師歸納學生意見並下結語。茲將各課程簡述如下：

一、發散思考與概念圖

教師先示範概念圖與腦力激盪法的簡介，利用生活化的「水」為主題，讓學生進行小組討論，並從中整理可以成為科展題目的概念並進行小組發表。學生可從活動中練習從科學概念形成合適的研究問題。

二、變形磚

教師示範「玉米粉水」受到壓力時會凝固的現象，學生必須自行設計實驗步驟找尋不施壓時具有流動性，施壓則會凝固的最佳比例。從此活動讓學生練習設計針對研究問題且有效率的實驗步驟。

三、如何想出好題目

教師丟出數個歷屆科展研究題目，讓學生去討論哪些是好的科學問題，如果他們是研究者，可以從這個研究主題中想到那些問題的發展。從討論中引導學生一個好的研究問題是可以藉由數據的蒐集與分析來回答或是驗證假說。

四、生物科展介紹

介紹歷屆生物科展得獎作品以及參與該遵守的規則，並引導學生發現生物科展作品常見的特徵。

五、實驗設計

參考余尚芸(2003)研究使用的教學設計。利用科學發展上的典範實驗，例如凡赫芒的光合作用實驗以及植物開花「光週期」的實驗，丟出科學家提出的假設，要求學生針對這些假設設計出合適的實驗步驟並進行發表，發表內容必須包含變因的分析以及實驗步驟。由同儕與教師評析這些實驗內容是否符合研究問題，以

及設計的實驗步驟是否有受到其他變因干擾的可能性。

六、數據分析

課程參考 Newsome(2002)、Windschitl 等(2008)的教學設計，以單擺實驗為主題(詳細教學教案見附錄一 數據分析活動教案與學習單)，教師先讓學生預期擺長、擺錘重量、擺角對單擺週期之影響，接著讓學生分組操作 PhET 軟體中單擺模擬實驗(如圖 3-3-1)，數位模擬實驗可以扣除真實實驗中所含的環境誤差與測量工具造成的誤差，不考慮摩擦力與空氣阻力等因素，操作該軟體可能存在的只有學生肉眼觀察利用軟體中碼表功能計時造成的人為誤差，但學生可以藉由「慢動作播放」這個功能減少人為誤差的影響，完成數位模擬實驗後由教師帶著學生討論如何詮釋實驗數據，並探討模擬實驗仍可能存在的誤差。下一節課則讓學生進行實際的單擺實驗，由於實際實驗會受到更多的誤差影響因素而干涉實驗結果，因此各組的實驗數據明顯比數位模擬實驗差距要大。教師藉由公布實驗理論值，讓學生比較自己的實驗值與理論值間的差異，來進一步引導學生說出本實驗可能存在的產生誤差之因素及各組實驗數據不一的原因。例如：學生能夠說出產生誤差之因素有：「因為前一、兩次對實驗操作不熟悉」、「固定繩子打結時影響繩長」、「實驗室有空氣流動造成的風」等，之後再引導學生歸納出誤差來源可以分為系統誤差(包含環境誤差、測量工具誤差、人為誤差等)以及隨機誤差兩大類及其意義。

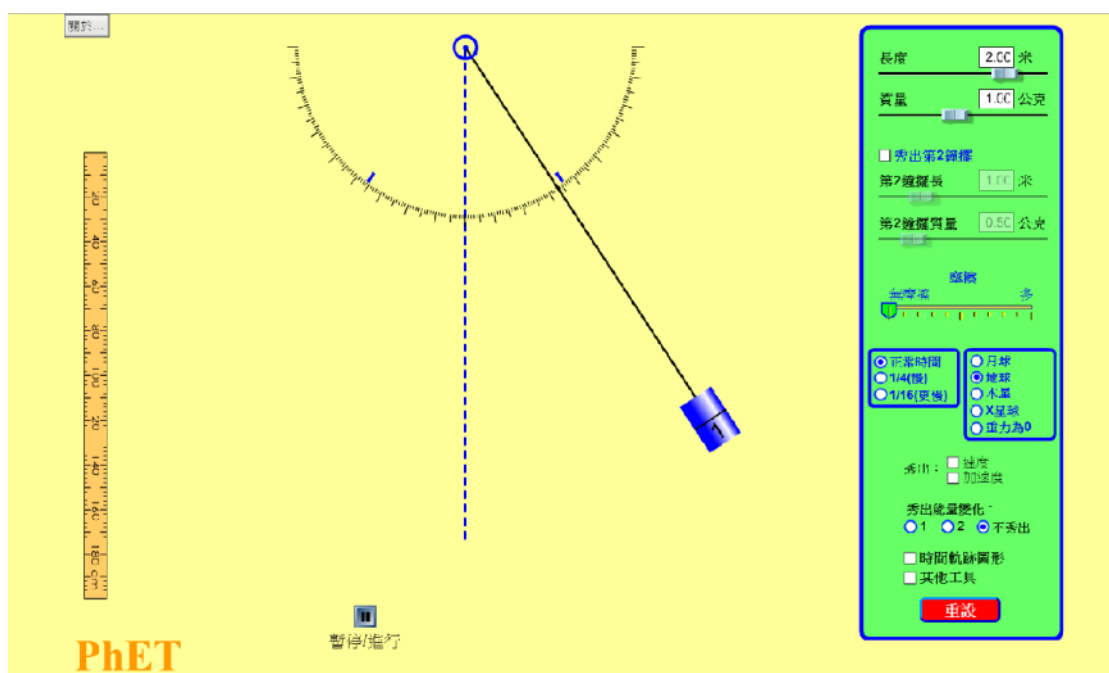


圖 3-3-1：PhET 單擺模擬實驗軟體截圖

七、實驗除錯練習

以上學期學生以組裝過的「千人震」為主題，教師給予每組學生部分已損壞的零件，要求學生找出壞掉的零件有哪些，並進行修復。藉由活動讓學生練習以具邏輯性的方式，找出實驗裝置有問題的地方。

八、科展範例分析

給予學生兩篇科展作品局部內容，此兩篇科展的研究主題都是在探討溶液酸鹼值與導電性的關係，然而兩組實驗的數據得到的推論會有所不同。學生藉由別人實驗的數據表格，練習如何詮釋研究結果，並藉由兩篇科展內容的比對，由教師進行引導讓學生探討為何兩組實驗步驟相似，但研究的結果與討論卻有相異之處。同時讓學生了解實驗設計與執行實驗過程對結果的重要性。

九、學生專題計畫發表

學生小組進行科展專題研究計畫發表，計畫內容必須包括「研究動機」、「研究問題」、「變因分析」、「實驗步驟」、「設計實驗裝置」等項目，並藉由教師回饋與同儕互評，修正後繳交科展專題計畫書。

十、蠟燭燃燒實驗

此教學活動是利用暑假研究者與其他同校教師指導學生從事科展活動時進行，教學時間為三小時。教學設計參考鄭豐順(1996)、張容君與張惠博(2007)的研究，由教師帶領學生回憶小學自然科學課學到的氧氣佔空氣中五分之一的概念，並示範蠟燭燃燒實驗，並讓學生觀察到蠟燭熄滅後水面並非上升到瓶子五分之一高度的事實。要求學生針對此觀察現象提出假設，帶學生發表假設後真實進行實驗，並檢驗實驗結果是否能驗證自己提出來的假說，最後進行結果發表並由教師引導學生下結論。

表 3-3-1：科展培訓教學模組課程設計

週次	授課主題	課程簡述	對應奧勒岡州科學探究能力評分準則	教學法
1	選社			
2	寒假作業檢測	寒假作業驗收與評論 (吹箭、不會破的肥皂泡、走馬燈)	F-a.概念的運用	發表教學法
3	發散思考與概念圖	Brainstorming與概念圖練習	F-a.概念的運用 F-c.問題的形成	合作學習教學法
4	變形磚	試誤學習—調配變形磚最佳比例	F-a.概念的運用 D-c.步驟的設計	探究式教學法
5	如何想出好題目	從觀察中發現問題與歷屆理化作品類型介紹	F-c.問題的形成 F-n.問題的科學性	講述教學法 小組討論教學法
6	生物科展介紹	歷屆生物作品類型介紹與生物實驗注意事項	F-a.概念的運用 F-c.問題的形成 F-n.問題的科學性	講述教學法
7	實驗設計(變因控制)	從典範實驗與PISA試題談實驗設計	D-a.變因的控制 D-c.步驟的設計	講述教學法 小組討論教學法
8	自製冰淇淋、膨糖	冷劑的製作與實驗操作技巧	F-a.概念的運用	探究式教學法
9	數據分析 I	從PhET軟體進行影響單擺擺動週期因素探討實驗，並如何從數據中得到適當推論。Excel繪圖教學。	P-a.數據的記錄 P-c.數據的呈現 P-n.數據的轉換 A-a.對結果的詮釋	探究式教學法 POE教學法
10	數據分析 II 與誤差探討	進行真實影響單擺擺動週期因素探討實驗，並探討與模擬實驗數據差異原因。	D-n.資料的合宜性 P-a.數據的記錄 P-c.數據的呈現 P-n.數據的轉換 A-a.對結果的詮釋	探究式教學法 合作學習教學法
11	實驗設計(誤差控制)	從歷屆科展題目或PISA試題進行含有誤差控制實驗的設計討論	D-a.變因的控制 D-c.步驟的設計	小組討論教學法
12	實驗除錯練習	給予學生小組有部分零件壞掉的千人震，學生能從多次測試中找出損壞零件並修復。	F-a.概念的運用 D-a.變因的控制	探究式教學法
13	科展範例分析 (含數據推論探討)	從兩份相同主題科展作品(酸鹼濃度對溶液導電性之影響)談實驗中的誤差控制與數據分析	D-n.資料的合宜性 A-c.對主題的討論 A-n.檢視及評估	小組討論教學法
14	學生專題計畫發表 與教師回饋I	學生發表專題計畫，從課堂教師與同儕回饋學習修正實驗設計	F-c.問題的形成 F-n.問題的科學性 D-c.步驟的設計	發表教學法
15	學生專題計畫發表 與教師回饋II	學生發表專題計畫，從課堂教師與同儕回饋學習修正實驗設計	F-c.問題的形成 F-n.問題的科學性 D-c.步驟的設計	發表教學法
16	蠟燭燃燒實驗	學生從教師示範蠟燭燃燒實驗，杯中水並非上升1/5。學生試著提出假說並設計實驗驗證假說。	F-c.問題的形成 D-a.變因的控制 A-c.對主題的討論 A-a.對結果的詮釋	POE教學法 探究式教學法

第四節 研究工具

一、科學探究能力實作評量

基於第一章第二節闡述之理由，本研究採用實作評量作為學生科學探究能力變化之研究工具。研究使用之科學探究實作評量修改自許瑛珪 (2008)設計的開放式斜面滑車實驗評量作為診斷學生科學探究能力的研究工具，受試時間為1小時，受試者須藉由給予的實驗設備自行完成設計實驗、操作、紀錄與結果推論等步驟，測驗紙本設計如附錄二「科學探究能力實作評量」所示。受試過程所收集的資料包括：(一)受試者實驗紀錄：包含實驗設計內容、數據紀錄、結果推論；(二)檢核表：研究者在受試者操作實驗過程中，即時觀察其行為並紀錄受試者達成哪些誤差控制的策略以及其方式，紀錄受試者其他值得注意的行為特徵；(三)錄影：作為檢視受試者實驗行為；(四)晤談：研究者分析完上述三項資料後，認為仍有值得詢問受試者的地方進行晤談。

本研究針對科學探究能力實作評量進行編碼，編碼方式參照美國奧勒岡州教育部門提出科學探究的四個面向與其評分準則來加以修改。編碼分為「實驗設計」、「實驗操作」、「數據處理」、「分析詮釋」四個主面向，個主面向各有數個項目，共計 23 個項目。每一項目有 2、1、0 三種編碼，如表 3-4-1 所示。表中示例敘述後方編號為實驗組學生代號，男生 M1~M8；女生 F1~F3。研究者必須依照學生實作錄影、紙本記錄與晤談資料進行編碼。評分準則經過預試結果進行多次修改後定稿，再由本社團另一位指導老師從 11 位實驗組學生隨機抽樣出 6 位，依受試者的前測資料進行評分後計算評分者信度，得到 92.11%的同意度。

由於研究對象在接受科展培訓教學模組之前並沒有在正式課程內習得實驗誤差的相關的科學概念，因此待研究對象升上八年級，在實驗組中測、後測以及對照組的前測、後測，增加與誤差相關概念的問題，並依據問題產生四個子面向，包括：「a4.規劃控制誤差的策略」、「b10.執行實驗時所使用的控制誤差的策略」、「d4.誤差來源造成影響的認知」、「d5.對於控制誤差的認知」。

表 3-4-1：科學探究能力實作評量編碼表

主面向	子項目	準則	示例
a.實驗設計	a1. 分析實驗的操作變因、控制變因以及應變變因	2分：正確分析各種變因，且寫下三個以及三個以上的正確控制變因。 1分：正確分析各種變因，且寫下三個以下正確的控制變因。 0分：錯誤的變因分析。	2分：傾斜角度實驗中，寫下「車子重量」、「軌道距離」、「軌道的材質」三項控制變因(F2)。 1分：傾斜角度實驗中，寫下一項正確控制變因—「車的重量」(M4)。 0分：車子重量實驗中，寫下「車的重量」為控制變因(M1)。
	a2. 規劃實驗的內容	2分：寫下符合研究問題的實驗步驟，包含架設裝置、改變操作變因數據紀錄(實驗一的角度與實驗二的重量等)、釋放車子與計時三個步驟)。 1分：不完整的實驗步驟。 0分：設計錯誤而不符合題目的實驗步驟。	2分：傾斜角度實驗中寫下：①把軌道架設好(6°)；②把汽車放好，在放下去時一起按碼錶；③紀錄時間；④再做 10°、16°和 20°(M7)。 1分：分別以一塊木塊、兩塊...四塊來增加軌道角度(每塊高 5cm)，再將車從軌道放開按下計時器 (M2)。 0分：傾斜角度實驗中寫下：①選擇斜面的材質；②架設固定高度；③在車身內放入鋼珠，並測量重量；④測量車子行駛之時間，並記錄(M8)。
	a3. 實驗步驟的順序	2分：寫下順序正確的實驗步驟。 1分：不完整但順序正確的實驗步驟。 0分：設計錯誤的實驗步驟順序。	2分：①把軌道架設好(6°)；②把汽車放下去的時候一起按碼錶；③紀錄時間；④再繼續做 10°、16°和 20°(M7)。 1分：量測 10 度的角，並放置玩具車於頂端，重複施測到 30 度的角(F3)。 0分：無此事例。
	a4.* 規劃控制誤差的策略(中測、後測)	2分：寫出兩項及兩項以上正確且有效減少誤差的策略並說明原因。 1分：僅寫出一項正確且有效減少誤差的策略並說明原因或是兩項及兩項以上正確減少誤差的策略但未說明原因。 0分：沒有任何策略或是錯誤的策略。	2分：使用鋼板，使軌道沒有彎曲問題、把(軌道)寬度改成跟車寬一樣，不會有左右滑動問題、用架子固定住球(鋼珠)(M8)。 1分：鋼珠可放置於車上的數量、木塊的不平滑(M2)。 0分：我會拿較小的鋼珠測試，以增加準確度(M4)。
b.實驗操作	b1. 量測斜面角度	2分：有任何一項策略來提高量測角度的精準度。 1分：直接進行測量且操作正確。 0分：錯誤的使用量角器。	2分：利用對頂角原理測量傾斜角度與直接量測傾斜角度兩次量測確認傾斜角度(M3)。 1分：直接使用量角器測量(M4)。 0分：使用量角器時未利用桌面等水平線為依據(M6)。

主面向	子項目	準則	事例
	b2. 量測滑行時間	2 分：使用任何一項策略來減少人為測量時間造成的誤差。 1 分：直接單純以肉眼觀察作為判斷。 0 分：操作時明顯沒有對滑行時間有固定的依據。	2 分：利用滑車撞擊鉛筆盒的聲響當作計時依據 (M1)。 1 分：直接目測計時(M13)。 0 分：時有滑車未到終點即按下碼表的行為(M2)。
	b3. 測量滑行距離	2 分：正確使用尺量測距離，並與操作實驗時對滑行距離的定義一致。 1 分：正確使用尺量測距離，但此距離與操作實驗時的距離不一致。 0 分：未測量滑行距離或是測量方式錯誤。	2 分：在中測實驗紙本紀錄上紀錄測量滑行距離(F3)。 1 分：未觀察。 0 分：前測 16 位受試者皆未測量滑行距離。
	b4. 測量滑車重量	2 分：正確使用電子秤進行測量。 1 分：只測量鋼珠重量而未測車子重量或是其他錯誤測量。 0 分：未測量重量，僅以多少顆鋼珠表示。	2 分：使用電子秤秤量載有鋼珠的車子重量。 1 分：重量影響滑行實驗中，僅測量”鋼珠重量”未將車子重量加入(M2)。 0 分：完全未測量重量或鋼珠重量，僅以 2 顆、4 顆鋼珠作為紀錄。
	b5. 進行多次測量	2 分：同一操作變因下，進行 3 次及 3 次以上的時間測量。 1 分：同一操作變因下，進行 2 次的時間測量。 0 分：同一操作變因下僅做一次測量。	2 分：每一項變因改變進行 5 次的測量(M5)。 1 分：每一項變因改變進行 2 次的測量(F3)。 0 分：每一項變因改變只進行 1 次的測量(M2)。
	b6. 固定滑軌的位置和傾斜角度	2 分：操作時有注意滑軌會因振動而產生偏移，並多次進行修正。 1 分：操作時有注意滑軌會因振動而產生偏移，但只有明顯影響到實驗操作才調整。 0 分：未注意到滑軌角度隨操作改變問題。	2 分：每次實驗皆確認軌道與木塊的相對位置並調整(M3)。 1 分：軌道與擋住車子滑行用鉛筆盒有明顯距離差時會調整軌道(M6)。 0 分：架設方式較容易在車子滑動時因震動產生偏移但未注意到此點(M7)。
	b7. 以等距調整滑軌角度	2 分：每次角度改變量為固定；1 分：部分角度改變量為固定；0 分：未固定角度改變量。	2 分：測量角度為 5、10、15、20 度(M5)。 1 分：無此事例。 0 分：僅改變木塊數量當作操作變因(M8)。

主面向	子項目	準則	事例
b.實驗操作	b8. 固定滑行距離	2分：每次操作皆由固定滑軌位置釋放。 1分：8成以上次數操作次數由固定滑軌位置釋放。 0分：8成以下操作次數由固定滑軌位置釋放。	2分：利用手指抵住車子尾端對準軌道起始點(M5)。 1分：僅以目測滑車起始端(M7)。 0分：僅有7成次數有相同起始點(M7)。
	b9. 實驗步驟	2分：正確的實驗步驟。 1分：完整但不正確的步驟順序。 0分：不完整的實驗步驟(例如：以滑車重量為操作變因時，滑軌傾斜角度也有所改變)。	2分：依照正確的操作變因、測量、紀錄等步驟(F3)。 1分：並非固定一個角度測量多次，而是每個角度進行一次實驗，在進行多次循環。(且未固定支撐點，在第二、第三次測量時，僅擺上木塊為重新測量角度)(M4)。 0分：先擺上不同數量木塊，全部一次測完角度才開始進行車子滑落實驗(M2)。
	b10.* 執行實驗時所使用的控制誤差的策略(中測、後測)	2分：執行每一項實驗設計中寫下的誤差控制策略。 1分：僅執行部分寫下的策略。 0分：未有任何策略或是完全沒有執行該策略。	2分：寫下在軌道末端放置物品，以車子撞到它的時間為準，並實際執行。(M2)。 1分：寫下軌道在木塊一定位置、每次都將車子放在軌道尾端、盡量放中間減少摩擦等三項，但執行時只做到後兩項(M1)。 0分：無此事例。
c.數據處理	c1. 登錄實驗結果的正確性	2分：正確的標示測量值，包含估計值與正確單位；1分：單位正確但數據沒有估計值；0分：登錄測量結果錯誤。	2分：量測角度包含估計值，其餘紀錄的測量值也皆包含單位(F3)。 1分：紀錄角度未包含估計值(M8)。 0分：無此事例。
	c2. 刪除誤差過大數據	2分：在操作或是處理數據過程中，刪除誤差過大數據(定義為高於或低於平均 0.2 秒)或是未產生誤差過大的數據。 1分：辨識出誤差過大的數據但未刪除。 0分：實驗結果中含有誤差過大數據但未進行處理。	2分：發現誤差過大時會捨棄該次紀錄(F3)。 1分：未觀察 0分：紀錄誤差超過 0.2 秒以上的紀錄，未捨棄任何一次紀錄(M8)。
	c3. 數據的組織與處理	2分：編寫出適當且正確的表格項目和正確的數據，及所對應的數值。 1分：編寫出適當且正確的表格，但表格中包含未寫單位或是不完整的數據。 0分：實驗數據處理上犯了項目及登錄錯誤(含平均的計算等)。	2分：表格包含適當且計算正確的數據與單位(F1)。 1分：表格中未註明下滑時間單位以及平均數和單次紀錄小數位不同(M8)。 0分：平均計算有所錯誤(M7)。

主面向	子項目	準則	事例
c.數據處理	c4. 圖像的繪製	2分：繪製出適當且正確的折線圖。 1分：繪製出適當的折線圖，但圖表中包含未寫單位或是格線標示。 0分：繪製出錯誤的折線圖。	2分：適當且正確，包含單位與描點的描點折線圖(M8)。 1分：未註明縱軸與橫軸代表的意義(M7)。 0分：將每次實驗以不同的折線呈現，且記錄錯誤操作變因(M2)。
d.分析詮釋	d1. 圖表的解釋	2分：能從圖表中寫出明確的詮釋(例如：滑行不受到滑車重量影響)。 1分：描述出現象但用詞模糊或是錯誤的解釋。 0分：未寫出任何解釋。	2分：詮釋包含「傾斜角度越大，時間越短」、「車子重量與滑行時間無改變」。 1分：認為「重力加速度與下壓力抵銷，所以加速度維持不變」(M8)。 0分：做出重量越大時間滑行越短的圖表，卻說明沒有改變(M1)。
	d2. 誤差的詮釋	2分：能指出自己的實驗數據與理論值有所差異，並說明正確的原因。 1分：能指出自己的實驗數據與理論值有所差異，但未說明原因或是有錯誤的認知。 0分：未能發現自己的實驗數據與理論值有所差異。	2分：寫下「摩擦力」與「按碼秒時間」兩項誤差原因(M2)。 1分：認為實驗2中選用傾斜角度大，重力加速度比較大，會影響滑行時間(M5)。 0分：認為自己的實驗與理論值沒有差異。
	d3. 誤差來源的歸因	2分：能說明出誤差包含環境以及環境誤差(可用類似概念名詞)，並說明誤差對結果的影響。 1分：僅說出環境誤差或人為誤差(可用類似概念名詞)其中一項，且包含正確的概念。 0分：未說明誤差的來源。	2分：寫下「人為因素」以及「車身和軌道的碰撞(自然因素)」等原因(M8)。 1分：僅寫下「軌道摩擦」此非人為誤差因素(M6)。 0分：認為有誤差是因為測量次數不夠多(該受試者測量了5次)(M5)。
	d4.* 誤差來源造成影響的認知(中測、後測)	2分：說明誤差來源對測量滑行時間的關係(例如摩擦力會造成滑行時間變長)。 1分：指出誤差來源但說明不清楚。 0分：未說明誤差來源與測量結果的關係。	2分：寫下車子滑動時軌道也跟著滑動、人按碼表的反應時間影響實驗結果等因素(M2)。 1分：誤差來源有滑車輪胎，滑久了摩擦力會下降(M1)。 0分：未觀察。
	d5.* 對於控制誤差的認知(中測、後測)	2分：說明誤差是可以降低但不能避免的，並引用正確的學理依據。 1分：說明誤差是可以降低，但引用錯誤的學理做說明。 0分：認為誤差是無法去控制的。	2分：誤差是不可避免的，但身為一位科學家就應該想辦法解決誤差的方法，把數據中的誤差降到最低(M8)。 1分：誤差是會影響實驗結果的因素，做實驗應該盡量克服所有誤差，才能使實驗結果精準(M4)。 0分：未觀察。

二、學生實驗日誌

學生在報名校內科展之初，學校會集合報名學生說明科展繳件應有的內容與格式，內容包含研究報告書、展覽海報以及實驗日誌，在實驗組參與的社團活動中，指導老師也要求每次實驗務必留下原始紀錄，即使實驗失敗也要把該次紀錄保存下來。本研究對針對學生蒐集資料與實驗日誌進行分析，企圖辨識出個別學生科學探究能力的發展特徵。

三、研究者追蹤實驗組科展活動歷程記錄

研究者全程陪同並觀察做紀錄實驗組從定義研究主題到進行實驗，待學生科展活動結束後，這些資料提供研究者了解實驗組學生進行科展歷程活動的參考。

四、學生科展專題研究實驗誤差控制分析表

於科展結束後要求各學生研究小組以小組討論方式，寫下學生科展專題研究實驗誤差控制分析表(附錄三)，學生小組必須分析該組進行實驗內容有何造成誤差的因素，並寫下處理的策略。處理策略可能包括：找到改良實驗方法或重新進行實驗設計；重複多次實驗後，選取較佳的幾次數據；意識到這項誤差因素，但選擇無視它而不處理；意識到這項誤差因素，但無法解決而放棄部分預定實驗內容；做完實驗或交完科展報告才發現有這項誤差因素的存在；其他處理策略等六種。

五、小組晤談

於科展結束，並在各研究小組畫下自我分析科展歷程圖後，研究者先初步整理上述幾項質性資料，並針對各組進行半結構式晤談，依據晤談內容加以分析，作為本研究進一步討論研究結果的參考。

六、科展作品報告書

校內科展競賽除了需繳交科展海報外，並要求學生繳交完整的科展作品報告書，內容包含研究問題、實驗設計、實驗數據、分析結論與等。本研究將閱讀實驗組與對照組學生科展作品報告書，與其他質性資料一起進行內容分析。

第五節 資料分析方法

本研究蒐集資料可分為兩部分：(一)量化資料：針對學生科學探究能力實作評量的評分結果進行推論性統計分析科展培訓教學模組；(二)質性資料：針對收集到的實驗組學生實驗日誌、研究者觀察實驗組科展活動所記下的歷程記錄、各組學生完成的科展歷程圖和晤談等質性資料進行內容分析。以下針對本研究試圖探討的研究問題如何分析資料作詳述(參閱表 3-5-1)：

1. 觀察學生接受科展培訓教學模組前後，科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？

研究依據第二章文獻探討進行科展培訓教學模組課程設計，教學模組涵蓋美國奧勒岡州教育部門提出科學探究四個面向、三層次評分指標形成的十二個科學探究能力分項。教學模組實施採用協同教學，由研究者與另兩位同校自然科老師進行教學。本研究將實驗組學生科學探究能力實作評量前測與中測得分結果進行魏氏帶符號考驗(Wilcoxon signed ranks test)，以及效果量(effect size)檢測，本研究問題相關研究資料屬於單因子的統計分析，根據 Cohen 定義關於效果量的參考標準而言，0.8 以上為高效果量；0.5 為中效果量；0.2 為低效果量。並針對蒐集到的質性資料進行內容分析。

2. 探討接受科展培訓教學模組學生與沒有接受科展培訓教學模組學生，在參與科展活動前後科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？

研究將分別將實驗組學生科學探究能力實作評量中測與後測，以及對照組前測與中測得分結果進行魏氏帶符號考驗(Wilcoxon signed ranks test)，探討科學展覽對學生科學探究能力之影響。為了探討科展培訓教學模組與參與科展活動對學生科學探究能力發展影響程度的差異，將實驗組三次評量得分結果進行弗里曼二因子等級變異數分析(Friedman two-way analysis)。在比較實驗組與對照組參與科展活動前後科學探究能力的改變差異比較方面，研究將兩組科學探究能力實作評量中測與後測各面向得分差異進行魏氏-曼-惠特尼 U 考驗(Wilcoxon-Mann-Whitney U test)。並利用科學探究實作評量紙本記錄、小組晤談、科展作品報告書、學生實驗日誌等質性資料分析，探討實驗組與對照組面對實驗誤差的控制與處理方式的異同。

表 3-5-1：研究問題與研究方法對照表

研究問題	分析方法	資料	分析方法
觀察學生接受科展培訓教學模組前後，科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？	(1) 實驗組學生(N=11)在接受科學探究能力課程前後以科學探究能力評量進行前測與中測，進行分析。 (2) 長期追蹤實驗組學生進行科學展覽的活動歷程，蒐集質性資料。	科學探究實作評量實驗組前測、中測 實驗日誌 教師追蹤紀錄 晤談逐字稿	實驗組前測、中測魏氏帶符號考驗與效果量分析 內容分析
探討接受科展培訓教學模組學生與沒有接受科展培訓教學模組學生，在參與科展活動前後科學探究能力的改變及面對實驗誤差的控制與處理方式為何？	(1) 在實驗組與對照組進行科學展覽專題研究前後進行科學探究能力評量施測，分析實驗組與對照組在參與科展前後科學探究能力的改變。 (2) 蒐集各種質性資料，包括：學生實驗日誌、小組晤談、學生小組自我分析科展歷程圖等。	科學探究實作評量實驗組前測、中測、後測，對照組前測、後測 實驗日誌 晤談逐字稿 學生科展專題研究實驗誤差控制分析表 科展成品報告書	實驗組中測、後測，對照組前測後測魏氏帶符號考驗 實驗組前測、中測、後測弗里曼二因子等級變異數分析 實驗組與對照組不同次測驗得分差異魏氏-曼-惠特尼 U 考驗

第六節 研究範圍與限制

本研究之研究對象為台北市某國中 22 名學生，其中 11 名為實驗組學生參與本研究設計的科展培訓模組並參與校內科展，分為 4 組研究小組，；另 11 名對照組學生未參與科展培訓模組但參與校內科展，分為 4 組研究小組。由於樣本人數不多且侷限於該所國中學生，本研究結果推論有以下限制：

- 一、本研究僅針對台北市某國中 22 名學生，共 8 隊科展小組進行質性研究。由於區域性研究與研究樣本之限制，不適合將研究結果推論至全國所有國中學生，僅適合對相似學習環境與學生能力的學生進行推論。
- 二、由於科展主題皆為學生自由選擇，我國「全國科學展覽會」國中組將主題分為「物理科」、「化學科」、「生物科」、「地球科學科」、「生活與應用科學科」以及「數學科」等六個主題，本研究選取之學生研究小組樣本，其研究主題雖集中在「物理科」、「化學科」、「生物科」三個主題，但每小組的研究內容有些偏向量化研究，有些偏向質性研究，研究內容所需的數據處理能力不一，單一研究主題與活動歷程對學生科學探究能力發展的影響甚大。本研究結果不適合推論至每一種科學展覽活動對學生科學探究能力發展的影響。
- 三、教師的專業知識、領導風格、人格特質對學生參與科展活動的影響極大(鄭英耀, 李育嘉, & 劉昆夏, 2008)，為避免指導老師個人對學生科學探究能力發展影響之因素，本研究實驗組與對照組科展的指導老師皆為本校三位自然科老師，三位老師秉持著「將干預學生研究的程度降到最低，僅引導與協助安全而不指導」的精神。也因此，研究結果不盡然可以推論至不同教師帶領風格的狀況。其他外在影響結果的因素，例如國中既有科學課程、補習班或科學營等其他環境科學學習經驗、學生參與科展動機、家庭背景與家長支持度等影響因素，亦不在本研究討論範圍內。

第四章 結果與討論

本章分成三個章節：第一節探討研究設計之科展培訓教學模組對學生科學探究能力發展的影響為何，第二節探討參與科學展覽活動對學生科學探究能力發展的影響為何，第三節則針對學生學習歷程中對於實驗誤差概念形成機制進行探討，詳述如下。

第一節 科展培訓教學模組對學生科學探究能力發展的影響

本節分成兩部分討論，第一部分是實驗組學生在接受科展培訓教學模組前後在科學探究能力實作評量上的統計分析；第二部分是實驗組學生接受科展培訓教學模組前後在科學探究能力實作評量上的行為表現分析。

一、實驗組學生在接受科展培訓教學模組前後在科學探究能力實作評量上的統計分析

本小節討論實驗組學生(N=11)在接受科展培訓教學模組前後科學探究能力之差異，研究在實驗組學生接受科展培訓教學模組前後，進行科學探究能力實作評量的前測與中測，將評量結果進行常態檢定，結果如表 4-1-1 所呈現，在中測「a.實驗設計」以及「c.數據處理」得分未通過常態性檢定($p>.05$)。因此樣本的科學探究能力實作評量結果分析改用無母數統計分析。

表 4-1-1：實驗組學生科學探究能力實作評量前測與中測常態性檢定

主面向	前測 平均	前測 標準差	前測 S-W	前測 <i>p</i>	中測 平均	中測 標準差	中測 S-W	中測 <i>p</i>
a.實驗設計 (total=6)	4.0	1.26	.924	.353	5.5	0.69	.701	.001
b.實驗操作 (total=18)	7.1	1.76	.932	.431	12.6	1.91	.907	.223
c.數據處理 (total=8)	4.6	1.37	.940	.518	6.1	1.30	.662	.001
d.分析詮釋 (total=6)	3.5	1.57	.889	.178	4.4	1.36	.882	.111
Total	19.1	4.39	.911	.249	28.6	3.33	.981	.971

本研究將實驗組學生科學探究能力實作評量前測與中測結果進行魏氏帶符號考驗(Wilcoxon signed ranks test)，分析結果呈現於表 4-1-2。實驗組學生在科學探究能力實作評量上四個主面向的成長表現皆達顯著，其中「a.實驗設計」、「b.實驗操作」、「c.數據處理」三個面向皆達到高效果量($E.S.>0.8$)，而在「d.分析詮釋」面向則達中效果量($0.5<E.S.<0.8$)足以顯示本研究設計的科展培訓教學模組對學生的科學探究能力有明顯的提升。關於在「d.分析詮釋」面向學生相對地成長較少，這是由於受試者皆為國中七年級學生，因此在科學探究方面必須先從基本的發現問題、確定問題、實驗設計、變因控制等順序教起，再教分析詮釋，參考「表 3-3-1：科展培訓教學模組課程設計」，在下學期 16 堂課只有 4 堂課是「d.分析詮釋」面向的教學，預期學生可能要藉由科學展覽學習到對自己的實驗結果的分析詮釋，才較有機會發展此一面向的能力。

表 4-1-2：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測主面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

主面向	前測 平均	前測 標準差	中測 平均	中測 標準差	Z	p	E.S.
a.實驗設計(total=6)	4.0	1.26	5.5	0.69	-2.72	.006**	1.24
b.實驗操作(total=18)	7.1	1.76	12.6	1.91	-2.96	.003**	3.02
c.數據處理(total=8)	4.6	1.37	6.1	1.30	-2.40	.017*	1.21
d.分析詮釋(total=6)	3.5	1.57	4.4	1.36	-2.46	.014*	0.65
Total	19.1	4.39	28.6	3.33	-2.94	.003**	2.27

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

表 4-1-3 呈現的是實驗組學生在科學探究能力實作評量 19 個子面向的成長表現，19 個子面向的檢定結果有 11 個面向達到顯著，未達顯著的面向包括：「b4.測量滑車重量」、「b9.實驗步驟」、「c1.測量數據的紀錄」、「c2.刪除誤差過大數據」、「c3.數據的組織與處理」、「c4.圖像的繪製」、「d1.圖表的解釋」、「d3.誤差來源的歸因」等 8 項。在「b4.測量滑車重量」子面向，學生多犯的錯誤是只紀錄鋼珠的顆數或重量，忽略滑車本身也是滑動物體的一部分；在「b9.實驗步驟」子面向學生在前測多能依照實際操作實驗前寫下的計畫實驗步驟進行操作，僅有一位學生在前測與中測皆發生了實際操作步驟與計畫實驗步驟不同的狀況。主面向「c.數據處理」中的四個子面向的成長表現皆未達到顯著，「c1.測量數據

的紀錄」學生多是未寫下測量估計值而未拿滿分；在「c2.刪除誤差過大數據」方面，學生在操作實驗時幾乎都會發生自覺某次實驗沒做好，因此未記錄該次實驗測量時間，但針對已紀錄下來的數據多不會進行檢視；在「c3.數據的組織與處理」以及「c4.圖像的繪製」子面向，學生在前測常出現的錯誤是多是因為表格跟圖片中未標註單位或是未標記縱軸與橫軸所代表的物理量而未拿到滿分；在「d1.圖表的解釋」子面向，學生常見的錯誤有兩種，一是堅持自己實驗前預測結果但與事實不符合、二是實驗誤差明顯，但詮釋上卻忽略誤差(尤其以實驗二、滑車重量對滑行時間的影響為甚)；在「d3.誤差來源的歸因」子面向則主要是意識到誤差的存在但對誤差來源的分析有誤，例如：「滑車的重量太重所導致誤差」、「坡度太陡產生重力加速度產生誤差」等觀念。在此值得一提的「b5.進行多次測量」子面向學生的操作行為特徵，有少數學生到了中測仍然每個操作變因只測1遍或2遍，晤談學生而得到的理由是「我認為實驗做得更精準就不用測量多次了」，顯示在此階段教師仍需增強學生對於為何要測量多次取平均以及實驗內容操作的概念。

表 4-1-3：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

子面向	前測 平均	前測 標準差	中測 平均	中測 標準差	Z	P
a-1. 分析實驗的操作變因、 控制變因以及應變變因	1.3	0.65	1.8	0.45	-2.12	.034*
a-2. 設計實驗流程	1.2	0.60	1.8	0.39	-2.33	.020*
a-3. 實驗步驟的順序	1.6	0.52	1.9	0.29	-2.24	.025*
b1. 量測斜面角度	0.9	0.54	1.5	0.52	-2.33	.030*
b2. 量測滑行時間	1.0	0.45	1.6	0.51	-2.12	.034*
b3. 測量滑行距離	0.0	0.00	0.7	0.99	-2.00	.046*
b4. 測量滑車重量	1.1	0.83	1.7	0.78	-1.41	.157
b5. 進行多次測量	1.1	0.70	1.5	0.52	-2.07	.038*
b6. 控制軌道的改變	0.3	0.67	1.3	0.65	-2.43	.015*
b7. 傾斜角度改變的控制	0.0	0.00	1.0	1.04	-2.24	.025*
b8. 滑行距離的控制	1.0	0.89	1.5	0.80	-2.12	.034*
b9. 實驗步驟	1.6	0.81	1.8	0.58	0.00	1.000
c1. 測量數據的紀錄	1.1	0.30	1.3	0.45	-1.41	.157
c2. 刪除誤差過大數據	1.2	0.75	1.8	0.39	-1.73	.084
c3. 數據的組織與處理	1.4	0.67	1.9	0.29	-1.89	.059
c4. 圖像的繪製	0.9	0.70	1.2	0.72	-1.63	.102
d1. 圖表的解釋	1.6	0.82	1.8	0.62	-1.41	.157
d2. 誤差的詮釋	1.0	0.63	1.4	0.52	-2.24	.025*
d3. 誤差來源的歸因	0.9	0.70	1.2	0.72	-1.72	.083
Total	19.1	4.39	28.6	3.33	-2.94	.003**

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

二、實驗組學生接受科展培訓教學模組前後在科學探究能力實作評量上的行為表現分析

在上一段針對學生在接受科學探究能力課程前後學生在科學探究能力實作評量上編碼的統計分析，本段將探討學生在科學探究能力實作評量常見的行為特徵：

(一) 不了解變因本身的意涵

此一特徵現象對應子面向「a1.分析實驗的操作變因、控制變因以及應變變因」在以傾斜角度為操作變因的實驗中，學生在實驗數據紀錄的是「支撐軌道的木塊數量」而非測量軌道傾斜角度並記錄下來；在以車子重量為操作變因的實驗中，未將車子的重量也視為車子重量的一部分，只記錄鋼珠的重量或數量。尤其在尚未接受科學探究能力課程之前，僅 54% 的學生正確測量及記錄軌道傾斜角度，45% 的學生正確地紀錄車子重量，多數學生只測量鋼珠重量或是只記錄鋼珠數目。顯示學生在此階段較缺乏對定量實驗的經驗與認知，推測這可能是本國規劃國中課程綱要中七年級生物實驗也多偏向定性實驗，而較少定量實驗。

(二) 圖表的紀錄與組織不完整

此一特徵對應子面向「c1.測量數據的紀錄」、「c4.圖像的繪製」本研究採用之科學探究能力實作評量中，要求學生將實驗結果記錄在自己設計的表格中，在此學生最常犯的錯誤就是將實驗數據繪製成折線圖時，沒有標記上縱軸與橫軸分別代表的物理量的單位，甚至未標示縱軸與橫軸代表的意涵。在前測 11 位實驗組學生中僅有 2 位能正確完整將實驗數據繪製成折線圖，而在中測僅有 4 位能正確完整將實驗數據繪製成折線圖，不到受試者人數的一半。

(三) 操作變因的改變不規則

學生在以傾斜角度為操作變因的實驗中，多數將木塊放置在固定位置，儘管改變了堆疊的木塊數量，但沒有想到可以調整木塊與軌道的相對位置，得到固定改變量的軌道傾斜角度，例如 10° 、 20° 、 30° 的依序變化，而是單純屈就木塊的數量改變，得到 8° 、 11° 、 18° 、 21° 不規則的操作變因改變。

(四) 學生在接受科展培訓教學模組前就會刪除「覺得奇怪」的數據，或只記錄「最好的數據」

我國七年級自然科的課本中並未提及要刪除誤差過大的數據，此一概念要等到八年級理化上學期第一章中「長度的測量」一節才會提到，但在尚未接受科展培訓教學模組前，學生進行科學探究能力實作評量已會不記錄他們「覺得奇怪」的數據，有部分學生意識到因為某個數據跟前一個相同變因狀況的數據有很大的差異，但有部分的學生是意識到「因為剛剛操作覺得不順」或是「跟我預期的數據」不一樣就選擇不記錄，而非在後續處理數據的平均時才刪除誤差過大的數據。

研究者：老師發現妳同一個角度做了很多次實驗，但為何表格上全部只有 4 個數據？ F2：因為我挑其中一次覺得做得最好的當作紀錄，其他的就都(用橡皮擦)擦掉，還有如果我看到車子滑動的時候比較不順，我就沒有記錄它。

(五) 將實驗圖表做錯誤的解釋

在前測的實驗結果推論上，有部分的學生依據他自己繪製的折線圖進行實驗結果推論時，會得到與繪製折線圖呈現結果矛盾的推論，其中多數學生的特徵是為了要配合實驗前要求寫下預期實驗結果，而這些矛盾的推論正符合學生預期的實驗結果。例如 M2 學生在「車子重量與滑行時間的關係」實驗中，將實驗數據繪製成的折線圖呈現山型(圖 4-1-1)，意即最長的滑行時間對應到的不是車重的最大值或最小值，然而 M2 學生在要求詮釋圖表的問題寫下「重量越重時間越短」而符合預期的結論。另一種常見的錯誤詮釋是來自於學生對專有名詞的定義不夠清楚，例如認為應變變因隨操作變因數值變大而跟著變大，兩者就是成正比關係，如圖 4-1-2 為實驗組學生 M7 繪製軌道傾斜角度與滑行時間的折線圖，該位學生將此圖詮釋為軌道傾斜角度與滑行時間為正比的關係。

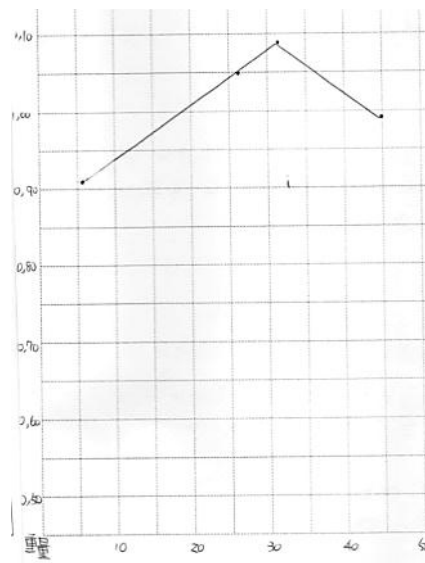


圖 4-1-1：M2 學生繪製的車子重量與滑行時間實驗折線圖

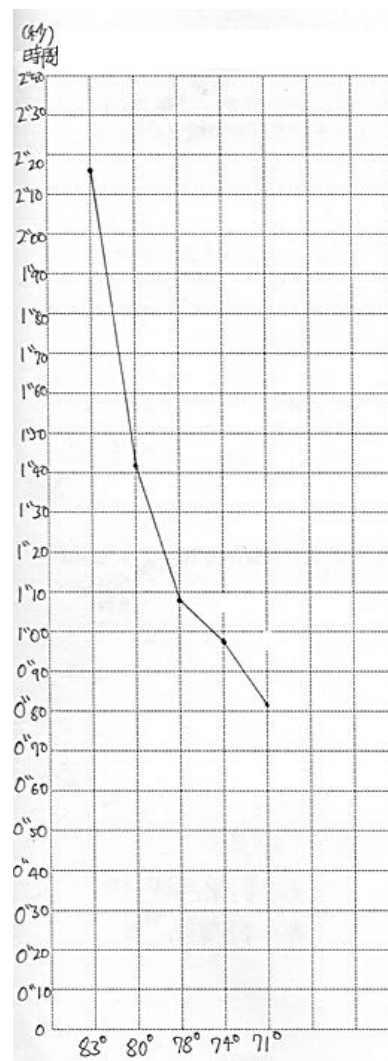


圖 4-1-2：M7 學生繪製的軌道傾斜角度與滑行時間折線圖

(六) 學生面對實驗結果不符合預期或與理論有差異的詮釋中包含錯誤的科學概念

在前測中面對實驗結果不符合預期或與理論有差異，要求學生進行原因探究，由於學生多數得到不符合自己預期的實驗結果，然而許多的推論包含著不正確的科學概念：

問題：實驗結果是否符合你的預期結果，若不符合，推測其原因為何？ F1：不符合，原因為忘了考量重力加速度和傾斜角度的問題，只單純認為車子越重，移動越慢。 F2：實驗結果出乎我的意料之外，原以為重力加速度而改變其速度，但事實卻是無論多輕或多重的車子，在沒有空氣阻力和人為測量的誤差下，掉下的時間都相同，這應該是摩擦力造成的結果。 M5：不，因為重力會加大下滑力，也會增大下壓力。(M8 學生做出的結果為鋼珠數目越多，滑行時間越短)
--

針對上述六項學生在接受科展培訓教學模組前後，在研究設計之科學探究能力實作評量表現特徵上變化呈現於表 4-1-4。從表 4-1-4 可以看出學生在接受科展培訓教學模組後，明顯進步的行為包括能正確地操弄操作變因(對應子面向 a1)、對於操作變因的控制改變有規律性(對應子面向 b7)、能刪除誤差過大的數據(對應子面向 c2)、將實驗圖表做正確的詮釋(對應子面向 d1)四項行為，而完整地圖表的紀錄與組織(對應子面向 c1、c4)以及能面對實驗結果與預期或理論的差異做正確推論(對應子面向 d2)兩項行為仍有待加強。此一結果也呼應「表 4-1-3：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表」，是研究設計的科展培訓教學模組課程有待增強的部分。

表 4-1-4：實驗組學生在前測、中測行為特徵變化分析表

進行實作評量行為特徵	F1	F2	F3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	total	比例
正確地操弄操作變因(前測)	✓	✓	✓				✓				✓	5	45.5%
正確地操弄操作變因(中測)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	9	81.8%
圖表的紀錄與組織完整(前測)												0	0%
圖表的紀錄與組織完整(中測)		✓		✓								2	18.2%
操作變因的控制改變有規律性 (前測)							✓					1	9.1%
操作變因的控制改變有規律性 (中測)			✓	✓	✓		✓	✓			✓	6	54.5%
刪除誤差過大的數據(前測)			✓				✓		✓	✓	✓	5	45.5%
刪除誤差過大的數據(中測)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	9	81.8%
將實驗圖表做正確的詮釋 (前測)	✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓	7	63.6%
將實驗圖表做正確的詮釋 (中測)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	9	81.8%
面對實驗結果與預期或理論差異 做正確推論(前測)			✓			✓						2	18.2%
面對實驗結果與預期或理論差異 做正確推論(中測)			✓			✓		✓			✓	4	36.4%

第二節 科學展覽活動對學生科學探究能力發展的影響

本節分作五個部分討論：第一部分探討實驗組學生在參與科展前後科學探究能力變化；第二部分探討影響實驗組學生在科展培訓課程與參與科展歷程科學探究能力的因素；第三部分探討對照組學生在參與科展前後科學探究能力變化；第四部分比較實驗組和對照組學生在參與科展前後科學探究能力變化差異；第五部分比較實驗組和對照組學生科學探究能力實作評量與科展作品表現，分述如下。

一、實驗組學生在參與科展前後科學探究能力變化探討

本研究取樣之 11 名實驗組學生在參與科展前後進行科學探究能力實作評量之中測與後測的改變，其四個科學探究能力主面向表現的統計分析如表 4-2-1 所示。實驗組學生在參與科展前後在「a.實驗設計」、「b.實驗操作」、「c.數據處理」、「d.分析詮釋」四個面向以及總分皆達到高效果量($E.S.>0.8$)且結果皆達顯著，顯示對於實驗組學生在接受科展培訓教學模組後，進行參與科展專題研究對其科學探究能力皆能獲得顯著的提升。

表 4-2-1：實驗組科學探究能力實作評量中測、後測主面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

主面相	中測 平均	中測 標準差	後測 平均	後測 標準差	Z	p	E.S.
a.實驗設計(total=6+2*)	7.2	.58	7.8	0.45	-2.11	.035*	1.01
b.實驗操作(total=18+2*)	14.3	2.06	16.9	2.47	-2.96	.003**	1.25
c.數據處理(total=8)	6.2	1.27	7.4	0.79	-2.64	.008**	0.99
d.分析詮釋(total=8+2*)	7.6	1.51	8.8	0.94	-2.40	.0016*	0.83
Total	35.3	3.67	40.9	3.72	-2.81	.005**	1.51

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

(*實驗組中測、後測較前測多了「a4.規劃控制誤差的策略」、「b10.執行實驗時所使用的控制誤差的策略」、「d4.誤差來源造成影響的認知」、「d5.對於控制誤差的認知」四個子面向，因此在主面向總分上與表 4-1-2 有所差異。)

對應表 4-1-1 實驗組學生在接受科展培訓課程前後在科學探究能力實作評量中「d.分析詮釋」僅有中效果量的進步($E.S.=0.65$)，但在參與科展前後此一主面向達到高效果量($E.S.=0.83$)，顯示可能在參與科展活動過程中，教師或是學生自己給予更多針對實驗結果分析與討論的機會，而得以在這面向得到顯著的進步。

Team1：我覺得參加科展收穫最大的地方就是因為視作課本以外的實驗，所以讓我獲得更多的科學知識，還有自己得到的實驗結果不像課本的問題與討論，都有標準的答案，必須自己去想怎麼解釋。

實驗組學生中測與後測子面向的比較如表 4-2-2 所呈現，達到顯著的有「b1.量測斜面角度」、「c1.測量數據的紀錄」、「c4.圖像的繪製」、「d3.誤差來源的歸因」、「d5.對於控制誤差的認知」五項，集中在「c.數據處理」以及「d.分析詮釋」兩個主面向。可能的原因是四組實驗組學生小組在進行科展專題研究過程中，皆能不斷地修改自己的實驗方法或是實驗裝置設計，從中獲得以上這些面向的概念。中測與後測間達顯著差異的子面相較前測與中測間達顯著差異者較少，可能是在接受科展培訓課程後已讓實驗組學生獲得某些面向的能力達到天花板效應(ceiling effect)。

表 4-2-2：實驗組科學探究能力實作評量中測、後測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

子面向	中測 平均	中測 標準差	後測 平均	後測 標準差	Z	P
a1. 分析實驗的操作變因、控制變因以及應變變因	1.8	0.45	2.0	0.00	-1.73	.083
a2. 設計實驗流程	1.8	0.39	1.8	0.39	.001	1.000
a3. 實驗步驟的順序	1.9	0.29	2.0	0.00	-1.00	.317
a4. 對控制誤差的策略	1.7	0.49	1.9	0.29	-1.34	.180
b1. 量測斜面角度	1.5	0.52	1.8	0.49	-2.00	.046*
b2. 量測滑行時間	1.6	0.51	1.8	0.39	-1.41	.157
b3. 測量滑行距離	0.7	0.99	1.0	1.04	-1.41	.157
b4. 測量滑車重量	1.7	0.78	1.8	0.78	-1.41	.157
b5. 進行多次測量	1.5	0.52	1.9	0.52	-1.89	.059
b6. 控制軌道的改變	1.3	0.65	1.6	0.29	-1.73	.083
b7. 傾斜角度改變的控制	1.0	1.04	1.5	0.91	-1.00	.083
b8. 滑行距離的控制	1.5	0.80	1.6	0.69	-1.00	.317
b9. 實驗步驟	1.8	0.58	2.0	0.00	-1.00	.317
b10. 實驗設計時對誤差控制策略的執行	1.8	0.45	1.9	0.29	-1.41	.157
c1. 測量數據的紀錄	1.3	0.45	1.9	0.29	-2.83	.005**
c2. 刪除誤差過大數據	1.8	0.39	1.9	0.29	-1.00	.317
c3. 數據的組織與處理	1.9	0.29	1.9	0.29	.001	1.000
c4. 圖像的繪製	1.2	0.72	1.7	0.49	-2.12	.034*
d1. 圖表的解釋	1.8	0.62	1.9	0.29	-1.00	.317
d2. 誤差的詮釋	1.4	0.52	1.7	0.49	-1.34	.180
d3. 誤差來源的歸因	1.2	0.72	1.8	0.45	-2.65	.008**
d4. 誤差來源造成影響的認知	1.8	0.39	1.8	0.45	-5.77	.564
d5. 對於控制誤差的認知	1.4	0.52	1.8	0.45	-2.00	.046*
Total	35.3	3.67	40.9	3.72	-2.81	.005**

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

二、實驗組學生在科展培訓課程與參與科展歷程科學探究能力改變因素探討

研究針對 11 位實驗組學生科學探究能力實作評量前測、中測與後測進行無母數統計分析中的弗里曼二因子等級變異數分析(Friedman two-way analysis)，結果如表 4-2-3 所呈現。分析結果並藉由 p 值皆達.05 顯著水準，查表得到對應的 Z 值臨界值為 2.69。利用事後比較臨界值公式： $|R_i - R_j| > Z_{CV} \times \sqrt{\frac{k(k+1)}{6N}}$ 進行計算，其中 R_i 為第 i 次評量等級平均數， R_j 為第 j 次評量等級平均數， Z_{CV} 為 Z 值臨界值， k 是組數， N 是樣本總數，引自王保進(2006, p.574)。依本研究樣本性質得到事後比較臨界值為 1.15，從表 4-2-4 可知，單純就學生接受科展培訓教學模組前後科學探究能力的差異($R_2 - R_1$)或是學生進行科展活動前後科學探究能力的差異($R_3 - R_2$)皆未大於事後比較臨界。而從接受科展培訓教學模組前與完成科展進行的科學探究能力比較($R_3 - R_1$)，顯示學生除了接受科展培訓教學模組，還須後續進行科展活動，才能在科學探究能力的四個主面向達到顯著的成長。

表 4-2-3：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測與後測主面向得分的弗里曼分析摘要表

主面向	前測等級 平均數 R_1	中測等級 平均數 R_2	後測等級 平均數 R_3	p	Z_{CV}
a.實驗設計(total=6)	1.23	2.32	2.45	.008**	2.69
b.實驗操作(total=18)	1.00	2.05	2.95	.001**	2.69
c.數據處理(total=8)	1.18	1.95	2.86	.001**	2.69
d.分析詮釋(total=6)	1.23	2.00	2.77	.001**	2.69
Total	1.00	2.09	2.91	.001**	2.69

** $p < .01$

表 4-2-4：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測與後測主面向得分的事後分析摘要表

主面向	Z_{CV}	事後比較 臨界值	$R_2 - R_1$	$R_3 - R_2$	$R_3 - R_1$
a.實驗設計(total=6)	2.69	1.15	1.09	0.13	1.22
b.實驗操作(total=18)	2.69	1.15	1.05	0.9	1.95
c.數據處理(total=8)	2.69	1.15	0.77	0.91	1.68
d.分析詮釋(total=6)	2.69	1.15	0.77	0.77	1.54
Total	2.69	1.15	1.09	0.82	1.91

三、對照組學生在參與科展前後科學探究能力變化探討

本研究取樣之 11 名對照組學生在參與科展前後進行科學探究能力實作評量之前測與後測的改變，其四個科學探究能力主面向表現的無母數統計分析如表 4-2-5 所示。實驗組學生在參與科展前後在「a.實驗設計」、「b.實驗操作」兩個面向以及總分達到高效果量($ES>0.8$)，在「c.數據處理」、「d.分析詮釋」達到中效果量($ES>0.5$)，且統計結果皆達顯著，顯示對於對照組學生，進行參與科展專題研究可使其科學探究能力獲得顯著提升。

表 4-2-5：對照組科學探究能力實作評量前測、後測主面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

主面向	前測 平均	前測 標準差	後測 平均	後測 標準差	Z	p	E.S.
a.實驗設計(total=6+2*)	6.4	0.92	7.1	0.83	-2.31	.021*	0.86
b.實驗操作(total=18+2*)	12.9	2.77	15.4	2.07	-2.83	.005**	0.94
c.數據處理(total=8)	5.3	1.95	6.1	1.04	-2.23	.026*	0.47
d.分析詮釋(total=8+2*)	6.6	1.56	7.6	1.54	-2.08	.037*	0.60
Total	31.2	5.79	36.3	4.05	-2.86	.004**	0.85

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

對照組學生參與科展前後在科學探究能力實作評量前測與後測子面向的表現比較如表 4-2-6 所呈現，達到顯著僅有「b7.傾斜角度改變的控制」，此一子面向代表學生在參與科展專題研究前後，在操作變因的控制上從容易受限於裝置的操弄，明顯變成能夠掌握現有實驗裝置，得到固定變化量的變因操弄。例如在前測操作變因受限於木塊數量的改變而得到的傾斜角度變化量非定值，然而在後測多數懂得移動木塊與軌道的相對水平位置，得到固定的傾斜角度變化量。然而，實驗組前測與中測比較上有 12 個子面向得到顯著差異，且實驗組中測與後測比較上有 5 個子面向得到顯著差異和四個主面向的效果量也皆大於對照組。

表 4-2-6：對照組科學探究能力實作評量前測、後測子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

子面向	前測 平均	前測 標準差	後測 平均	後測 標準差	Z	p
a1. 分析實驗的操作變因、控制變因以及應變變因	1.2	0.60	1.5	0.69	-1.00	.317
a2. 設計實驗流程	1.7	0.47	1.8	0.41	-1.00	.317
a3. 實驗步驟的順序	1.8	0.41	1.9	0.30	-1.00	.317
a4. 對控制誤差的策略	1.6	0.51	1.9	0.30	-1.73	.083
b1. 量測斜面角度	1.4	0.67	1.5	0.67	-1.00	.317
b2. 量測滑行時間	1.5	0.52	1.7	0.41	-1.73	.083
b3. 測量滑行距離	0.0	0.00	.18	0.60	-1.00	.317
b4. 測量滑車重量	1.3	1.00	1.8	0.60	-1.73	.083
b5. 進行多次測量	1.8	0.60	1.9	0.30	-.45	.645
b6. 控制軌道的改變	1.0	0.89	1.2	0.87	-1.00	.317
b7. 傾斜角度改變的控制	.91	1.04	1.6	0.81	-2.00	.046*
b8. 滑行距離的控制	1.6	0.51	1.6	0.52	-0.38	.705
b9. 實驗步驟	1.7	0.65	2.0	0.00	-1.34	.180
b10. 實驗設計時對誤差控制策略的執行	1.7	0.47	2.0	0.00	-1.73	.083
c1. 測量數據的紀錄	1.3	0.79	1.4	0.52	-0.33	.739
c2. 刪除誤差過大數據	1.4	0.82	1.6	0.65	-1.13	.257
c3. 數據的組織與處理	1.1	0.69	1.6	0.51	-1.41	.157
c4. 圖像的繪製	1.1	0.70	1.5	0.52	-1.63	.102
d1. 圖表的解釋	1.7	0.82	1.8	0.30	-0.56	.564
d2. 誤差的詮釋	1.4	0.67	1.5	0.69	-0.56	.564
d3. 誤差來源的歸因	1.2	0.72	1.6	0.45	-1.41	.157
d4. 誤差來源造成影響的認知	1.4	0.51	1.6	0.47	-0.82	.414
d5. 對於控制誤差的認知	1.2	0.60	1.3	0.65	-0.45	.655
Total	31.2	5.79	36.3	4.05	-2.86	.004**

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

四、比較實驗組和對照組學生在參與科展前後科學探究能力變化差異

為了解實驗組與對照組學生在參與科展活動前後科學探究能力變化是否有所差異，將實驗組學生後測與中測在各主面向得分相減的值以及實驗組學生後測與前測在各主面向得分相減的值進行魏氏-曼-惠特尼 U 考驗 (Wilcoxon-Mann-Whitney U test)，結果如 4-2-7 所呈現。顯示實驗組和對照組學生在參與科展前後科學探究能力變化無顯著差異，同本節第二部分「實驗組學生在科展培訓課程與參與科展歷程科學探究能力改變因素探討」中提及，可能原因為實驗組在接受科展培訓教學模組後在科學探究能力部分面向即獲得較為完整的發展，形成天花板效應，因此在實驗組與對照組參與科展前後這部分無法呈現顯著差異。但在進行實驗組與對照組在前後測的改變差異比較，如表 4-2-8 所示，實驗組學生在「實驗設計」、「實驗操作」、「數據處理」、「分析詮釋」四個面向與總分的得分變化，皆較對照組學生顯著明顯($p < 0.05$)。

表 4-2-7：實驗組與對照組參與科展前後科學探究能力實作評量主面向得分的曼-惠特尼 U 考驗摘要表

主面向	實驗組						對照組						Z	p
	中測		後測		後測-中測		前測		後測		後測-前測			
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.		
a.實驗設計	7.2	0.58	7.8	0.45	0.3	0.79	6.4	0.92	7.1	0.83	0.7	0.79	-.33	.738
b.實驗操作	14.3	2.06	16.9	2.47	2.5	1.21	12.9	2.77	15.4	2.07	2.5	2.02	-.64	.525
c.數據處理	6.2	1.27	7.4	0.79	1.2	1.25	5.3	1.95	6.1	1.04	0.9	1.04	-.52	.600
d.分析詮釋	7.6	1.51	8.8	0.94	1.0	1.00	6.6	1.56	7.6	1.54	0.8	1.08	-.88	.378
Total	35.3	3.67	40.9	3.72	4.9	2.81	31.2	5.79	36.3	4.05	5.0	3.13	-.10	.320

表 4-2-8：實驗組與對照組科學探究能力實作評量前後測主面向得分差異得分的曼-惠特尼 U 考驗摘要表

主面向	實驗組						對照組						Z	p
	前測		後測		後測-前測		前測		後測		後測-前測			
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.		
a.實驗設計	4.0	1.26	5.8	0.40	1.9	1.45	4.7	0.65	5.2	0.87	0.5	0.82	-2.43	.015*
b.實驗操作	7.1	1.76	15.1	2.34	7.7	2.10	11.2	2.60	13.5	2.07	2.3	1.74	-3.87	.001**
c.數據處理	4.6	1.37	7.5	0.82	2.7	1.49	5.2	1.89	6.1	1.04	0.9	1.04	-2.96	.003**
d.分析詮釋	3.5	1.57	5.3	1.01	2.1	1.76	4.3	1.42	4.8	0.98	0.5	0.93	-2.42	.015*
Total	19.1	4.39	33.6	3.32	14.5	5.32	25.4	5.64	29.5	3.72	4.2	2.86	-3.92	.001**

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

(因實驗組前測無「a4.規劃控制誤差的策略」、「b10.執行實驗時所使用的控制誤差的策略」、「d4.誤差來源造成影響的認知」、「d5.對於控制誤差的認知」此四個子面向，因此此表中其他得分也是不計此四個面向得分來進行統計分析)

五、實驗組、對照組學生科學探究能力實作評量與科展作品表現比較

研究請託兩位校內科展評審老師協助進行取樣學生小組科展作品表現評分，為切確瞭解研究使用之科學探究能力實作評量與學生科展作品的在科學探究能力方面的相關性，在研究上非直接利用校內真正科展競賽的評分面向作比對(校內科展評分面向參考自臺北市科展評分面向)，而是與研究使用之科學探究能力實作評量編碼準則有相同的依據，皆是基於奧勒岡州(2002)提出的科學探究能力評分準則(2002-2009 Official Scientific Inquiry Scoring Guide)。科展作品評分的準則，在兩位老師評分前，先給予本研究參考彭天音(2006)修改奧勒岡州科學探究能力評分準則的架構進行評分(附錄四、附錄五)，準則將科學探究能力分成四個主面向，並各有3個子面向，形成共12個子面向，每一子面有0、1、2、3四種分數，兩位老師對評分準則有疑問在評分前先進行討論與解釋，學生科展作品評分結果與科學探究能力實作評量後測成績比對與相關統計整理於表4-2-9。為探討實驗組與對照組學生在科展作品上是否有顯著差異，進行實驗組與對照組科展個主面向得分的魏氏-曼-惠特尼U考驗，結果如表4-2-10所呈現。實驗組與對照組在「d.分析詮釋」子面相關有顯著差異，其餘面向與總分並無達到顯著差異。

表 4-2-9：學生科展作品評分與科學探究能力實作評量後測得分表

	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5	Team 6	Team 7	Team 8
科學探究能力實作評量								
後測成績								
a.實驗設計(total=6+2*)	7.7	8.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.5	7.0
b.實驗操作(total=18+2*)	17.0	18.0	18.5	16.5	17.0	16.0	14.5	12.0
c.數據處理(total=8)	8.0	7.0	7.5	8.0	6.7	6.0	5.5	4.5
d.分析詮釋(total=8+2*)	8.3	9.0	9.0	7.5	7.7	7.0	7.5	6.5
總分(total=46)	41.0	42.0	43.0	42.0	38.3	36.0	36.0	30.0
科展作品表現								
a.實驗設計(total=9)	5.5	4.0	7.0	7.0	5.0	5.0	6.0	3.5
b.實驗操作(total=9)	6.5	6.0	7.5	7.5	4.0	5.5	6.5	3.0
c.數據處理(total=9)	5.5	5.0	7.5	7.0	4.5	6.0	6.0	2.5
d.分析詮釋(total=9)	5.0	5.0	6.5	5.5	4.5	4.5	4.5	2.5
總分(total=36)	22.5	20.0	28.5	27.0	18.0	21.0	23.0	11.5

表 4-2-10：實驗組與對照組學生科展作品評分的魏氏-曼-惠特尼 U 考驗摘要表

主面向	Z	p
a.實驗設計	-0.59	.686
b.實驗操作	-1.90	.057
c.數據處理	-1.16	.343
d.分析詮釋	-2.38	.029*
總分	-1.44	.200

* $p < .05$

從表4-2-10以及先前在科學探究能力實作評量的分析結果可以看出，實驗組在「d.分析詮釋」的表現明顯高於對照組，可能是實驗組在七年級接受科展培訓教學模組過程，有較多報告與發表機會，以及參考過去全國科展作品有關。以代表實驗組的team1以及代表對照組的team6為例，兩組依實驗結果繪製的折線圖皆是非線性的，與理化課課內的實驗理論結果有所不同，在圖表的詮釋與討論上team6犯了錯誤，依實驗折線圖，產生氣體最少應該是自來水組而非鹽水組，其餘三組對照組則沒有繪製折線圖，只以表格呈現實驗結果。

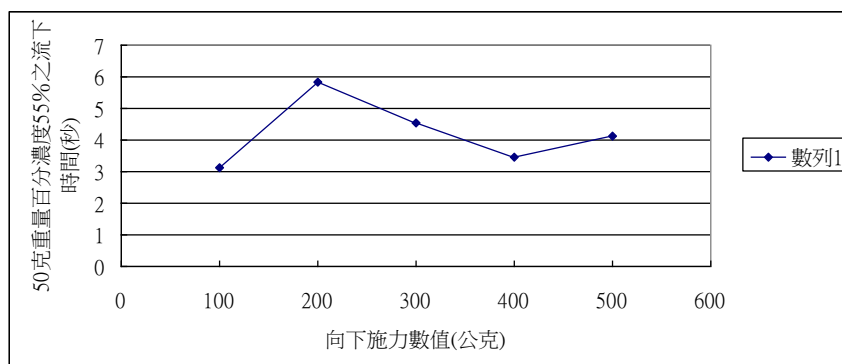


圖 4-2-1：Team1 依實驗結果繪製的折線圖

Team1：我們發現當用 100g 施壓(實驗中施壓最小者)時，其流速最快；則用 200g 施壓(實驗中施壓次小者)時，其流速最慢。討論結果：玉米粉水溶液會在一定的壓力下，流速最慢。並不會隨著一定的比例上升或下降。(寫於科展報告)

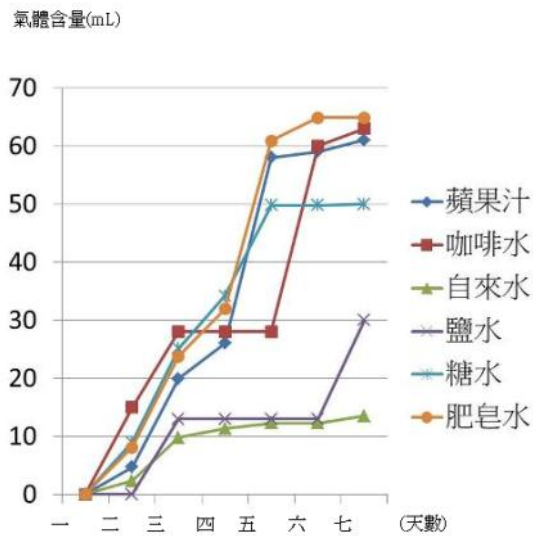


圖 4-2-2：Team6 依實驗結果繪製的折線圖

Team6：本實驗所得結果，根部浸泡在肥皂水中的黃金葛所產氣體量最多，鹽水則最少。

表4-2-11顯示學生科展作品評分與科學探究能力實作評量後測分數相關性考驗結果，在「b.實驗操作」、「d.分析詮釋」兩個面向以及總分上呈現高度相關(Pearson相關係數 >0.7)，顯示靜態的科展作品呈現與動態的實作評量有一定的關聯性。而在「a.實驗設計」、得分未能呈現高相關可能是科學探究能力實作評量題目中指定學生要寫下操作變因、控制變因、應變變因以及實驗步驟與減少誤差策略，相較於科學探究能力實作評量較有制式化規定的題目，科展報告的要求較多彈性以及缺少明確指定內容應有項目，學生在報告書中較少呈現到實驗設計相關的描述，導致這部分的成績偏低，評分結果不具相關性。科展評分教師的訪談中也提及，在科展作品中，學生對於實驗結果來進行科學解釋與下結論的能力是比較缺乏的。

校內科展評分教師：我覺得今年在你們指導之下，學生的作品品質有比較好，實驗過程做得比較完善，也有把問題怎麼來的，還有跟那些學理有關係寫進去，但是實驗步驟還是寫得沒有辦法讓人一看就知道他實驗在做什麼，還有這個問題有什麼實用性。...還有，這次學生在實驗數據上的整理跟呈現是比較成熟的，但是往年也都有這樣的問題：學生觀察到了結果、整理了表格，但接著要去探討那為什麼會這樣？它可能的原因是什麼？實驗有怎樣的延伸性，這都還是學生比較沒有去寫到的部分。

表 4-2-11：學生科展作品評分與科學探究能力實作評量後測分數相關性考驗摘要表

主面向	Pearson 相關係數	<i>p</i>
a.實驗設計	.312	.452
b.實驗操作	.713	.047*
c.數據處理	.666	.071
d.分析詮釋	.775	.024*
總分	.802	.017*

* $p < .05$

這現象也出現在學生的科展作品表現中，實驗組四組全部都有將實驗數據轉換成圖表再做解釋與下結論，而對照組四組中只有一組做到這一點，而僅對數據結果轉為文字描述，並未做進一步的推論與解釋結果。

Team5：我們的實驗結論是：照白光的綠豆長的最高，照綠光的綠豆則是其次，照紅光的綠豆第三，照藍光的綠豆第四。不同的光對綠豆的生長有很大的影響。（撰寫於科展成品報告書）

第三節 學生對於實驗誤差概念形成機制之探討

本節探討學生關於實驗誤差概念形成之機制，可分為五個部分：第一部分是分析科展培訓教學模組與參與科展活動對學生科學探究能力中與誤差相關部分的表現影響；第二部分藉由訪談等質性資料探討學生獲得實驗誤差相關概念之來源；第三部分討論學生在科學探究能力實作評量中實驗誤差來源分析有哪些特徵；第四部分討論學生針對誤差在科學實驗中造成影響之詮釋為何；第五部分討論學生在面對科展實驗研究中誤差控制的處理策略有哪些。

一、科展培訓教學模組與參與科展活動對學生科學探究能力中與誤差相關部分的表現影響分析

本研究採用之科學探究能力實作評量的評分面向當中，與實驗誤差認知與處理相關的子面向包括「b1. 量測斜面角度」、「b2. 量測滑行時間」、「b5. 進行多次測量」、「b6. 控制軌道的改變」、「b8. 滑行距離的控制」、「c2. 刪除誤差過大數據」、「d2. 誤差的詮釋」、「d3. 誤差來源的歸因」。將實驗組接受科展培訓教學模組前後，在科學探究能力實作評量以上子面向的得分總和進行魏氏帶符號考驗，分析結果如表 4-3-1。結果顯示對於實驗組學生在接受科展培訓教學模組後，實驗誤差認知與處理策略相關能力可以達到顯著的成長($E.S.=2.64$, $p<0.01$)。

表 4-3-1：實驗組科學探究能力實作評量前測、中測誤差相關子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

	前測 平均	前測 標準差	中測 平均	中測 標準差	Z	p	E.S.
誤差相關 子面向得分	7.2	1.72	11.7	2.00	-2.83	.005**	2.64

** $p<.01$

M2：我在科研社課程中學到了把課本中的理論應用在生活中或與現實社會結合…我了解要如何去思考或解決一個問題，例：控制誤差。而最讓我覺得高興的是：我學會如何經過不斷測試與修正後，設計出一個實驗。(撰寫於課程回饋表)

為探討參與科展活動對學生實驗誤差認知與處理策略相關能力之影響，將兩組參與科展活動前後在科學探究能力實作評量中有關實驗誤差的子面向得分進行魏氏帶符號考驗，在此考慮的得分子面向較實驗組前測分析多了「a4.對控制誤差的策略」、「b10.實驗設計時對誤差控制策略的執行」、「d4.誤差來源造成影響的認知」、「d5.對於控制誤差的認知」四個子面向，分析結果如表 4-3-2 與表 4-3-3 所呈現，實驗組與對照組在參與科展前後在實驗誤差認知與處理策略相關能力的成長達到相當顯著(實驗組 $E.S.=1.18$ ， $p<0.01$ ；對照組 $E.S.=0.71$ $p<0.01$)。

表 4-3-2：實驗組科學探究能力實作評量中測、後測誤差相關子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

	中測 平均	中測 標準差	後測 平均	後測 標準差	Z	p	E.S.
誤差相關 子面向得分	18.5	2.39	21.3	2.00	-2.74	.006**	1.18

** $p<.01$

表 4-3-3：對照組科學探究能力實作評量前測、後測誤差相關子面向得分的魏氏帶符號考驗摘要表

	前測 平均	前測 標準差	後測 平均	後測 標準差	Z	p	E.S.
誤差相關 子面向得分	17.1	2.94	19.2	2.12	-2.73	.006**	.71

** $p<.01$

為比較實驗組與操作組在參與科展活動前後在實驗誤差認知與處理策略相關能力的成長差異，將兩組參與科展活動前後在科學探究能力實作評量中有關實驗誤差的子面向得分差進行曼-惠特尼 U 考驗，分析結果如表 4-3-4 所呈現。兩組在參與科展活動前後在實驗誤差認知與處理策略得分上的進步雖皆達顯著，但兩組間的比較沒有達到顯著上差異。這可能與兩組參與科展前後整體得分成長的比較結果有相同的原因，是由於實驗組在接受科展培訓教學模組後已獲得部分實驗誤差認知與處理策略的能力之故。而在晤談的結果比較則可以發現，實驗組通常有較多實驗遭遇挫折而修正實驗設計，企圖使實驗蒐集數據誤差值降低的過程，而對照組在接受晤談時，面對要求回顧科展活動歷程較少提及這一部分。

表 4-3-4：學生參與科展活動前後在科學探究能力實作評量誤差相關子面向得分差異的曼-惠特尼 U 考驗摘要表

主面向	實驗組								對照組				Z	p
	中測		後測		後測-中測		前測		後測		後測-前測			
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.		
誤差相關子 面向得分	18.5	2.50	21.3	2.10	2.8	2.14	17.1	3.08	19.2	2.23	2.10	1.64	-.837	.403

二、學生獲得實驗誤差相關概念來源之探討

本研究中實驗組學生獲得實驗誤差相關概念來源包括：(一)自己－學生自己藉由科展或課內實驗等科學探究活動獲得；(二)科展指導教師－科展指導教師科展指導過程中將概念教授給學生；(三)同學－在科展進行過程中請教同學、觀察他組實驗、或是同學主動給予意見獲得概念；(四)校內正式課程－由教師在校內正式科學課程中教導給學生的實驗誤差相關概念；(五)科展培訓課程－實驗組學生在七年級接受的科展培訓教學模組課程中獲得概念。對照組學生獲得實驗誤差相關概念來源則包含上述來源的前四項。

研究者在訪談學生小組時，要求學生依照重要性將上述獲得實驗誤差相關概念來源進行排序，號碼越小代表越重要。如表 4-3-5 所示，實驗組學生一致認為最重要的概念來源是科展指導教師，其次依序是科展培訓課程、自己、同學、校內正式課程，而在表 4-3-6 可以看出對照組學生平均認為最重要的概念來源是自己，其次依序是科展指導教師、科展培訓課程、同學。中間的差異可能來自於實驗組在科展進行過程較對照組多了 1 節社團課可以和科展指導教師詢問，此外實驗組利用社團機會了解其他小組研究內容，也有助於科學概念的增長。

表 4-3-5：實驗組學生小組認為誤差相關概念影響來源排序比較表

	自己	科展指導教師	同學	校內正式課程	科展培訓課程
Team1	3	1	5	4	2
Team2	2	1	4	5	3
Team3	4	1	3	5	2
Team4	2	1	5	4	3
平均	2.8	1	4.3	4.5	2.5

表 4-3-6：對照組學生小組認為誤差相關概念影響來源排序比較表

	自己	科展指導教師	同學	校內正式課程
Team5	2	1	4	3
Team6	1	3	4	2
Team7	1	2	4	3
Team8	2	3	4	1
平均	1.5	2.1	4	2.3

Team2：很多時候我們都是邊做才邊發現怎樣可以做到更好，像是橡皮塞跟火箭之間的摩擦力會影響飛的高度，後來才注意到要在橡皮塞上做記號，每次都要固定在同一個位置。

研究者：是怎麼發現的？

Team2：我們自己發現的，一開始飛很容易失敗，我們就在想有哪些造成失敗的原因，後來就發現橡皮塞給的阻力過大，還有就是塑膠瓶會漏氣，後來才改用鋁罐。(搜集的氫氣會散逸)

研究者：是自己想到解決方法的嗎？

Team2：不是，是老師告訴我們的。(另一位同學補充)還有就是瓶內氣體密度不一樣，爆炸前要均勻搖晃讓它均勻混合才能夠點火。

三、學生在科學探究能力實作評量中實驗誤差來源分析之特徵

表 4-3-7 整理了實驗組學生科學探究能力實作評量中測與後測針對自己進行的斜面滑車實驗做誤差來源分析，實驗組學生在中測，也就是進行科展活動前就普遍意識到按碼表的反應時間是人為誤差來源之一(N=7)，其次是車子與軌道間的摩擦力造成的環境誤差。值得一提的是，無論是實驗組學生或是對照組學生都沒有人提到傾斜角度（操作變因測量）測量造成的誤差，在此科學探究能力實作評量，學生意識到的人為誤差來源只有按碼表或是眼睛觀測的反應時間誤差。

表 4-3-8 則呈現對照組學生科學探究能力實作評量中測與後測得比較結果，在誤差來源分析的數量上對照組學生明顯少於實驗組學生，在「人的眼睛觀測滑行」、「車子上鋼珠的滾動」、「空氣阻力/風向」三個項目對照組學生在中測、後測皆沒有人提及，後兩項實驗組學生較多人提到的原因可能與實驗組四組研究小組中，有兩組是研究火箭飛行相關因素探討，研究主題內容與科學探究能力實作評量皆屬於運動學的實驗。對照組有三位學生提及給予的實驗裝置的不穩定性，包括每個木塊厚度不同或是每顆鋼珠的重量不一，然而只要做好後續的傾斜角度以及車子與鋼珠重量測量，此因素並不會是科學探究能力實作評量實驗的誤差來源之一。

表 4-3-7：實驗組學生針對科學探究能力實作評量中實驗的誤差來源分析

誤差來源	F1	F2	F3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
人的眼睛觀測	●	○							△		
按碼表的反應時間		●	●	●	●	●	●		●	○	●
起始點與終點的位置未固定			△								
車子的不穩定性					△						
車子與軌道間的摩擦力	●			●			●	●		△	●
軌道與車子輪胎的間距過大						△	●				
軌道不平整			●				○				
軌道的滑動	△	●			●				○		
車子上鋼珠的滾動						○	△				
空氣阻力/風向			●	○				○		○	○
鋼珠重量或木板厚不固定											

●：中測、後測皆有提到 ○：中測沒有提到，後測有寫出 △：中測有提到，後測未提到

表 4-3-8：對照組學生針對科學探究能力實作評量中實驗的誤差來源分析

誤差來源	CF1	CF2	CF3	CF4	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7
人的眼睛觀測滑行											
按碼表的反應時間	●	○		○	●	△	●	○		○	●
起始點與終點的位置未固定	△	△	○								
車子的不穩定性						○					
車子與軌道間的摩擦力				●	○				●	●	●
軌道與車子輪胎的間距過大								●			
軌道的滑動						○				△	
車子上鋼珠的滾動											
空氣阻力/風向											
鋼珠重量或木板厚不固定			●		●		○				

●：中測、後測皆有提到 ○：中測沒有提到，後測有寫出 △：中測有提到，後測未提到

針對學生在進行科學探究能力實作評量實驗操作過程中，值得一提的是學生在面對實驗無法順利執行時，選擇的方法是再三執行相同實驗，而非分析實驗內容。例如：部分學生在進行科學探究能力實作評量實驗操作過程會遭遇的問題是選擇的軌道傾斜角度太低，因此滑車有時會因摩擦力過大而停下來。學生此時選擇的多是重新再試，試到不會中途停止才紀錄該次滑行所需時間，然而學生不會去探討為何有時車子無法順利到達終點，進而改變使用傾斜角度或是檢查車子狀況，而就是不斷地重試，直到車子可以達到終點才紀錄該次數，甚至有學生在40分鐘實驗時間內只記錄了5次滑行時間數據。這個行為特徵也顯示在學生執行

科展專題研究上，當學生某次實驗遭遇結果不如預期、或是實驗沒有結果時，學生選擇的是以相同的實驗設計與實驗手法重新多做幾次，而非回到實驗設計的步驟。

以 team2 為例，該組利用製備的氫氣與氧氣蒐集於自製火箭模型中，並進行試爆。然而在實驗初期多次點燃火花仍然沒有辦法使自製火箭升空，而且多次實驗是連動都不動，該組花了一個多月以上重複做實驗，每次實驗手法幾乎沒有修改，直到教師干預協助做測試，才發現問題在於塑膠瓶容易漏氣，必須改用鋁罐。再以 team6 為例，該組將黃金葛放置裝有不同溶液的廣口瓶中，檢測根部浸泡在不同溶液下的黃金葛光合作用產生氣體量的差異。然而在前幾次實驗中放了一整天都無法蒐集到任何氣體，該小組除了重複檢查實驗裝置中連接量筒與廣口瓶的橡皮管是否有被壓到，並沒有去分析為何不會產生氣體，而是連續三個禮拜進行重複實驗，但這三個禮拜的數據學生自知無法使用，將這些數據皆剔除在實驗報告外。

四、學生針對誤差在科學實驗中造成影響之詮釋

在學生進行科展前後所給予的科學探究能力實作評量試題中，詢問了學生「請寫下就你所認知，『誤差』在科學實驗中扮演了怎麼樣的角色？而身為一位科學研究者，又如何去面對這些誤差？」此一問題。學生關於誤差在科學實驗中的詮釋，可以歸納為 5 個概念：(1)誤差會使實驗失敗或對於實驗結果失去正確判斷；(2)誤差對於實驗研究而言是一種阻礙；(3)誤差是不可避免的；(4)實驗中必須設法將誤差降到最低；(5)誤差包含環境誤差以及人為誤差(學生在問答時提及類似概念就給予紀錄)。

表 4-3-9 與表 4-3-10 分別呈現了實驗組與對照組針對誤差對科學實驗造成影響的詮釋統計表。若是在科展前的評量中有提及，但在做完科展的後測沒有提及的概念則不算在統計次數上。可以看出實驗組學生明顯較對照組學生有「誤差是不可避免的」概念，這可能是在於實驗組學生接受的科展培訓教學模組中，從單擺實驗理解實驗誤差的兩節課中有進行明示教學，以及在科展得獎作品文獻評析

中友也強調過有關，而控制組較容易擁有的觀念是「如果實驗做得夠好就不會有誤差了」此一迷思概念(CF1、CF2、CM5)。而在提及「你將如何設計或改善此實驗，以探討相同研究問題？」的問題回答上，最多人的回答是使用精確的儀器來減少實驗誤差。

表 4-3-9：實驗組學生針對誤差對科學實驗造成影響的詮釋

對於誤差的詮釋	F1	F2	F3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	total
誤差會使實驗失敗／失去正確判斷	●	Δ						●		Δ	Δ	2
誤差對於實驗研究而言是一種阻礙		●		●	●	●		●	●		Δ	6
誤差是不可避免的	●			●	●		●	●	●	●	●	8
實驗中必須設法將誤差降到最低	●		●	●	●			Δ		●	○	6
誤差包含環境誤差以及人為誤差	○		●	○	●		●			○	●	7

●：中測、後測皆有提到 ○：中測沒有提到，後測有寫出 Δ：中測有提到，後測未提到

表 4-3-10：對照組學生針對誤差對科學實驗造成影響的詮釋

對於誤差的詮釋	CF1	CF2	CF3	CF4	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	Total
誤差會使實驗失敗／失去正確判斷	Δ					●		●		○	Δ	3
誤差對於實驗研究而言是一種阻礙	●	●			Δ		●	●	●		●	6
誤差是不可避免的			Δ	●			●			●		3
實驗中必須設法將誤差降到最低	Δ		●	●	●	○						4
誤差包含環境誤差以及人為誤差	Δ			●		○	●		○	●		4

●：前測、後測皆有提到 ○：前測沒有提到，後測有寫出 Δ：前測有提到，後測未提到

五、學生在面對科展實驗研究中誤差控制的處理策略

在學生科學展覽活動結束後，請學生科展小組填寫學生科展專題研究實驗誤差控制分析問卷(附錄三)關於學生在面對科展實驗研究中誤差控制的處理策略種類可以分成 5 種類型來討論：

- (一) **找到改良實驗方法或重新進行實驗設計**：當學生意識到實驗設計本身有問題或是蒐集到的數據不如預期時，多數選擇的策略就是想到改良實驗方法、找尋新的測量方法及測量工具並重新進行實驗設計。例如：實驗組中有一組探討施以溶液酸鹼值對種子發芽率與植物生長狀況的探討，最先收集到的實驗數據遇到生長結果與施以溶液 pH 值沒有明顯影響，之後小組成員

去探討問題，發現依國中理化教材提到的稀釋理論方法配製不同 pH 值溶液，其實際 pH 值與理論值有明顯差異，小組成員改用 pH 計測量溶液，採用邊稀釋邊調配到所需 pH 值的策略，並且找到螺旋測微儀增加測量植物莖粗細的精準度，並意識到測量莖的長度前必須將植物的莖拉直再測量。本研究採樣的 8 組科展小組中有 6 組在科展報告及訪談中，都提及到剛進行科展一開始的實驗數據，隨著實驗的進展與改良都會遭到不採用的處理，但在訪談的過程中學生都會提到這樣實驗步驟的往返與修正，對他們而言是有意義的。

Team2：在實驗過程中，我們發現一開始的科學方法都不會是完美的，會隨著在做實驗的時候發現問題，再回去修正想到新的實驗方法，不斷地進行這樣的步驟，我們就可以做出最好的實驗結果。...我們在蒐集氣體還有設計產生火花(點燃火箭燃料)繞了很多圈，大概花了一個多月以上吧。

研究者：那你們認為這樣子的繞圈是浪費時間還是有意義的？

Team2：一開始的繞圈是有意義的，因為這是我們自己想的題目，不像課本的實驗有標準的步驟跟答案，當我們做不好的時候要自己去找尋答案，雖然學得東西比較雜不像課本的實驗有順序，但我覺得這樣訓練到的東西是課本中學不到的。

Team5：雖然老師一直否定我們的實驗(設計)，認為這樣得到的數據是不能用的。但也是因為這樣我們不斷地改良我們的實驗方法才有最後的結果，我覺得這樣子比較好(比起老師直接教怎麼做)。

(二) **重複多次實驗後選取較佳的幾次數據**：多數學生在科學探究能力實作評量中進行多次測量，這一能力也同時顯現在科展專題研究過程。在 8 組科展小組中有 6 組均有此項誤差處理方式。

(三) **意識到這項誤差因素，但選擇無視它而不處理**：有部分小組在實驗進行過程中即發現有明顯造成實驗誤差的因素存在，但認為無法處理，因此無視此造成誤差因素的存在，繼續做實驗，選擇此方法的原因也多跟科展進行時間受限有關。

Team3：我們很早就發現(火箭)飛的距離受到現場的風影響，只好同一天之內趕緊將同一個變因的實驗做完。同組組員補充：還有在(水火箭)打氣的時候水會一直漏，雖然我們有注意讓氣壓維持 80psi，但(水火箭)水的量很明顯沒辦法固定。

Team3：沒辦法，科展快要截止了，只好硬著頭皮在下雨天做。

(四) 意識到這項誤差因素，但無法解決而放棄部分預定實驗內容：學生在實驗進行過程中即發現有明顯造成實驗誤差的因素存在，但因為無法想到解決策略，或是無法分析誤差主要來源，選擇放棄該項實驗內容。

Team7：我們發現用鋁（用鋁片觸發醋酸鈉結晶生成，並測量溫度改變量）一直沒有辦法測得溫度(改變量)，最後只好放棄對鋁片的研究。

研究者：那有找到或去猜為什麼會這樣嗎？

Team7：沒有，我們做了好幾次也找不出原因，時間也不夠了。

(五) 做完實驗或交完科展報告才發現有這項誤差因素的存在：少部分的誤差來源是在學生做完實驗、繳交科展報告之後才發現。並且表示是看到自己的科展展示看板跟報告才發現。

Team6：(探討自己做的實驗有哪些產生誤差的來源)還有就是我們發現使用的黃金葛在剪下來的時候有沒有根會影響實驗結果很多。

研究者：這是什麼時候發現的？

Team6：昨天。

研究者：什麼？

Team6：對，就是我們昨天在自然科辦公室看自己寫的報告才發現的，之前都沒有注意到。

除了上述 5 外，學生也表示因為忙於應付實驗的操作，無法去思考如何解決誤差或減少誤差。表 4-3-11 呈現了 4 組實驗組以及 4 組控制組對於誤差來源處理方式的種類與次數，實驗組每組皆有找到改良實驗方法或重新進行實驗設計的行為出現，並在收集實驗數據時能做到同一變因多做幾次，取比較好的幾次數據的方式。

表 4-3-11：學生實驗小組針對實驗誤差來源處理類型統計表

誤差來源處理方式	Team1	Team2	Team3	Team4	Team5	Team6	Team7	Team8	總和
找到改良實驗方法或重新進行實驗設計	3	2	2	1	3		2		13
重複多次實驗後，選取較佳的幾次數據	1	1	1	1		1	1		6
意識到這項誤差因素，但選擇無視它而不處理			1			1		2	4
意識到這項誤差因素，但無法解決而放棄部分預定實驗內容		1			1		2		4
做完實驗或交完科展報告才發現有這項誤差因素的存在	1				1	1			3
total	5	4	5	2	5	3	5	2	31

第五章 結論與建議

本章分為三節，第一節歸納整理本研究針對研究問題之研究結果，第二節針對研究結果進行綜合討論，第三節則針對研究結果提出建議以及未來研究方向。

第一節 研究發現與結論

本節針對所提出的研究問題之研究結果，進行重點摘要的結論整理，包括研究設計之科展培訓教學模組對學生科學探究能力之影響，參與科學展覽活動對學生科學探究能力之影響，以及學生對於實驗誤差概念形成機制之探討。

一、研究設計之科展培訓教學模組對學生科學探究能力之影響

研究設計一學期 16 節課的科展培訓教學模組以文獻評析結果為基礎，科展培訓教學模組的課程內容教學目標涵蓋美國奧勒岡州教育部門(Oregon Department of Education, 2002)提出科學探究四個面向、三層次評分指標形成的十二個科學探究能力分項，並以一科學探究能力實作評量做為學習成效評估依據。研究對象為接受科展培訓教學模組並參與研究者任教學校校內科學展覽者 11 位學生，作為本研究實驗組。施測結果，實驗組學生在接受科展培訓教學模組前後在評量的四個面向：「實驗設計」、「實驗操作」、「數據處理」、「分析詮釋」皆達到顯著差異($p < 0.05$)。

研究結果並針對學生在實驗操作的行為特徵，包括學生可能不了解變因本身的意涵、在圖表的紀錄與組織不完整、操作變因的改變量非定值、學生處理實驗數據的特徵、面對實驗結果不符合預期或與理論有差異的錯誤詮釋等進行內容分析。

二、參與科學展覽活動對學生科學探究能力之影響

研究選取沒有接受科展培訓教學模組但有參與校內科學展覽的 11 位學生作為本實驗之對照組。在實驗組與對照組學生進行科學展覽活動前後施以科學探究能力實作評量，研究結果發現實驗組與對照組學生在參與科學展覽活動後科學探究

能力皆得到顯著成長($p < 0.05$)。並藉由統計分析得到科展培訓教學模組與參與科學展覽活動對實驗組學生在科學探究能力達到顯著的成長皆同樣重要的結論。

而在實驗組以及對照組在參與科展前後科學探究能力實作評量得分改變進行魏氏-曼-惠特尼 U 考驗發現，單就參與科學展覽活動對兩組學生科學探究能力成長並沒有達到顯著差異，原因可能在於實驗組在接受科展培訓教學模組後部分面向的科學探究能力已發展趨於成熟之故。但在科學探究能力個面向得分平均以及效果量分析上，實驗組學生表現皆高於對照組學生。在參與科學展覽活動後，實驗組在科學探究能力「分析詮釋」面向的表現明顯高於對照組，顯示科學展覽活動對實驗組學生在「分析詮釋」面向特別有所助益。

三、學生對於實驗誤差概念形成機制之探討

研究利用晤談、科學探究能力實作評量以及學生科展專題研究實驗誤差控制分析問卷等質性資料進行內容分析，得到實驗組學生認為獲得的實驗誤差概念多來自於科展指導教師，而對照組學生則認為獲得的實驗誤差概念多是因自己在科展實驗中活動探索所獲得的結論。而在科學探究能力實作評量分析方面，關於滑車實驗在誤差來源的分析上，實驗組學生分析的來源數量明顯多於對照組學生。學生在科展活動結束後，獲得的誤差相關概念可分為：(1)誤差會使實驗失敗或對於實驗結果失去正確判斷；(2)誤差對於實驗研究而言是一種阻礙；(3)誤差是不可避免的；(4)實驗中必須設法將誤差降到最低；(5)誤差包含環境誤差以及人為誤差五種概念。而在進行科展過程中學生針對控制誤差有的策略可分為：(1)找到改良實驗方法或重新進行實驗設計；(2)重複多次實驗，選取較佳的幾次數據；(3)選擇無視而不處理此誤差因素；(4)放棄部分預定實驗內容。

第二節 綜合討論

本節針對研究之研究結果進行更進一步的討論，包含：科展培訓教學模組對於科學探究能力發展的意義、參與科學展覽對於學生科學探究能力發展的意義以及教師在指導學生參與科學展覽所扮演的角色三部分。

一、科展培訓教學模組對於科學探究能力發展的意義

Colburn (2000)、Akinoglu (2008)與陳均伊(2010)的研究皆發現當學生先備的能力偏低時，從事開放性的科學探究活動(例如科展)無法得到好的學習成效，因此教師是否得提供一個好的教學鷹架會是學生參與科學探究活動的學習成效好壞的重要因素之一。過去許多關於探究性教學的研究，都是針對某一項科學思考策略進行明示教學，其中以控制變因為多數，缺乏使學生投入整個科學探究過程的教學研究。而本研究設計之科展培訓教學模組以 16 堂課內容呈現，涵蓋美國奧勒岡州教育部門提出科學探究四個面向、三層次評分準則形成的十二個科學探究能力分項，能夠涵蓋學生在參與科學展覽活動完整歷程所需的技能。

Gibson 與 Chase(2002)指出以探究活動為主的學習是有效的科學學習方法，而實驗活動是科學探究學習最常採用的教學情境。以科展培訓作為科學探究能力教學的背景情境，藉由模組化的實驗課程、分組討論、發表的活動，有助給予學生完整科學探究能力發展的機會。

二、參與科學展覽對於學生科學探究能力發展的意義

在對研究取樣八組學生科展小組進行晤談時，許多組別都提到像科展這樣的活動比課本食譜式的實驗讓他們學到更多東西，雖然科展實驗過程冗長且相較課本沒有效率，很多時候是在面臨失敗與修正的過程中繞圈，但學生自認學到的知識與技能是更加廣泛且深入的。並且這些學生都提到經歷過科展活動後，他們變得更喜歡從事科學研究，不論科展作品是否有得獎，在未來他們會持續地參與類似活動。

林建志 (2008)的研究指出，比起只具有「理論值」的模擬實驗，具有「誤差值」的開放性的科學探究過程更能讓學生實驗操作能力、測量準確度、科學態度，及對實驗操作喜好程度有所提升，與本研究對學生晤談結果分析得到相同的結

論。

本研究發現未接受科展培訓教學模組，直接參與科學展覽活動的對照組學生，在科展活動結束後其科學探究能力實作評量在「分析詮釋」面向能力表現較實驗組學生差，這點也同樣呈現在科展作品的表現上。謝州恩與吳心楷(2005)的研究發現，學生在進行科學探究活動後，提出證據支持主張的科學解釋能力成長最不明顯；彭天音(2010)在針對學生參與氣象探究網路競賽對學生科學探究能力表現的個案研究結果也呈現，在「形成問題與假說」、「設計研究」、「收集呈現數據」、「分析闡述結果」四個科學探究能力向度中，學生在「分析闡述結果」此一向度平均得分最低。

三、教師在指導學生參與科學展覽所扮演的角色

研究對參與科展學生進行晤談結果顯示，無論是實驗組或對照組皆表示科展指導教師對其科展作品影響的重要性。不少針對科學展覽的研究是進行資深教師如何指導學生參與科展的個案研究(鄭英耀、李育嘉與劉昆夏, 2008; 張可彤, 2008; 江良捷, 2010)，這些研究都指出教師的專業素養對學生科展作品表現的影響甚大，並有研究發現資深教師會以學生的想法為中心，在指導學生時會著重在變因操控、實驗規劃、實際操作以及口語表達能力的訓練及培養(江良捷, 2010)。莊創期 (2003)的研究發現，有些教師當發現學生實驗結果與理論預期不同時，會要求學生重新按照實驗步驟再重覆一次，而不是要求學生去探討原因。

實施本研究設計之科展培訓教學模組的三位社團教師亦為本研究取樣之參與科展學生的指導老師，指導學生參與過程中，教師保持著「引導者」的身分，指出學生實驗設計中的問題，或是操作實驗上的錯誤，教師僅做的是提出問題的工作，然而問題該如何解決教師並不明確地給予解決問題的策略。學生在沒有得到明確指令的狀況下，很多時候是在不斷嘗試錯誤中找到解決策略。在科展結束的晤談過程，學生提到多次嘗試錯誤的過程雖然使人挫折，但比起教師直接給予解決問題的答案，自我嘗試錯誤的過程讓他們學習到更多的知識與技能。

第三節 建議

本節依據研究結果與討論提出對於未來研究以及教學上的建議，並提出未來研究方向：

一、對於未來研究的建議

(一) 教學模組設計與研究對象方面

本研究設計之科展培訓教學模組實施於研究者任教之七年級社團課程，每週只有 45 分鐘(一堂課)的時間，且授課學生是經由入社測驗所篩選，入社學生具有一定的學生動機。因此本研究方法之研究結果，可能會受到科展培訓教學模組實施於正式課程或是非正式課程，以及學生來源是高動機學生或是一般學生而有所不同。未來研究方向，可朝由設計之科展培訓教學模組對一般學生的適用性以及影響進行進一步的研究。

(二) 科學探究能力實作評量

本研究第二章文獻探討即提及在科學探究能力的評量上，實作評量優於傳統紙筆測驗的論點。藉由本研究採用之科學探究能力實作評量進行編碼與質性資料分析可以發現，實作評量除了由教師觀察檢核與學生完成作品評分外，針對學生在科學探究能力實作評量操作的行為特徵進行進一步分析，必要時針對學生操作狀況進行錄影與事後訪談，有助於學生針對實驗操作行為其背後的認知與思考做進一步的深入瞭解。

操作真實實驗的實作評量雖優於傳統紙筆測驗，但也有費時以及評分者信度不易建立等問題(盧雪梅，1998)，若能發展出數位實作評量，藉由預設好的編碼方式將學生操作虛擬實驗的歷程與答案進行半自動評分，便可大量減少評分時間並增加評分者信度。例如，張俊彥(2012)等人利用人工智慧中自然語言處理等技術，開發出開放式科學學習測驗自動評分技術，並驗證其評分者信度相當接近於人工閱卷水準。

(三) 學生在實驗中控制誤差技能發展的研究

過往對學生科學探究能力發展與科學探究能力相關研究中，較容易忽略去探討學生在科學實驗中如何控制誤差，以及學生對於實驗中誤差存在認知的相關概

念。然而，分析本國全國國中小科學展覽競賽作品可以發現，常出現重複、相關性高的研究問題與實驗內容，而得獎關鍵往往是設計的實驗方法、實驗裝置能否有效地控制誤差、提升實驗的精準度。本研究僅對學生控制誤差策略以及對誤差概念的發展進行初探，並藉由科學探究能力實作評量可以發現學生對於實驗誤差仍存在著許多迷思概念，例如：實驗作得好就不用多次測量，便是將系統誤差與隨機誤差混為一談；或是實驗結果不符合預期便歸咎於因為有實驗誤差的存在，而非進一步用科學概念去解釋結果。因此，探討如何提升學生在學習中獲得控制誤差相關技能，以及在科學展覽過程中學生控制誤差相關概念的發展，是未來科學探究能力相關研究可以努力的方向之一。

二、對於教學的建議

本研究設計之科展培訓教學模組在實際執行上遵循「明示教學」的原則，不論是實驗操作或者是給予學生資料要求進行分析詮釋的活動，皆在活動進行尾聲帶領學生進行該節課的回顧與反思，告知學生這堂課主要希望學生學到哪一項科學探究能力相關概念。例如，在「數據分析與誤差探討」課程，讓學生操作單擺實驗，進行各組實驗結果與比較，引導學生進行討論為何實驗結果可以得到什麼結論，以及探討各組實驗結果差異甚大，學生在討論過程中可以得到「實驗操作不熟悉會造成誤差過大」、「測量多次取平均可以使結果接近理論值」等概念。因此本研究建議，教師在進行科學探究教學活動，以明示教學作為教學原則，在實驗活動結束後引導學生如何下結論與反思。

邱韻如(2002)曾將認知衝突策略引進大一普通物理「單擺實驗」教學當中，發現學生常將實驗數據上的誤差歸咎於空氣阻力或人為誤差，與本研究結果相似。然而，邱韻如指出問題常常是出在學生儀器操作錯誤或是測量方法錯誤上，因教師在實驗前帶領學生進行誤差來源分析、實驗後引導學生檢查數據的教學過程是必要的。多數學生也容易將誤差相關概念(error)、準確度(accuracy)、精確度(precision)等名詞混淆，因此在實驗操作中對於誤差的控制也常犯錯(Menditto, 2007)。誤差的分類有兩種：一種是分為絕對誤差(absolute error)與相對誤差(relative error)，絕對誤差指的是測量值與真值的差異，相對誤差指的是絕對誤差與真值的比值；另一種分法是將誤差分為系統誤差(systematic error)與隨機誤差(random

error)，系統誤差是指因操作方法、測量儀器本身、實驗環境影響等因素造成的誤差，隨機誤差則是指不可預測且不可控制的微小因素，造成測量值呈現常態分布的誤差。準確度是指測量值與真值間的接近程度，取決於使用的測量儀器、實驗方法，意即正確仔細地的操作方法與提升對變因的控制標準可提高實驗的準確度；精確度則是指進行重複測量時，測量值間的差異程度，越好的測量儀器可以題詩實驗精確度(Menditto, 2007；Korsunsky, 2010；黃福坤，2004)。如何將誤差相關概念帶入到科學探究教學可以是未來教師們可以探討的地方。例如，Siegel (2007)讓學生藉由預估糖果袋中巧克力數量來讓學生了解準確度與誤差間的關係，Korsunsky(2010)將錯誤的實驗範例帶入教學中讓學生了解誤差的種類與來源，並讓學生去討論如何控制誤差。

研究在學生科學展覽活動結束後，利用社團課時間帶領學生進行一年半的社團課程以及科學展覽活動回顧，多數學生皆能在回饋單與課堂回饋意見提到本研究設計之科展培訓教學模組對於他們日後從事科展專題研究時的幫助。但當授課教師提出為何科展作品最終呈現不甚滿意的疑問時，學生表示課程讓他們練習到的機會不夠多，因此在科展進行中常出現第一時間不知如何解決問題的困難。從「表 3-3-1：科展培訓教學模組課程設計」中可以看出，研究所設計的教學模組的確包含了與科學展覽活動相符的發現問題、實驗設計、操作實驗、分析數據、獲得推論等一系列的科學探究活動歷程，但可說一學期用不同的主題只讓學生體驗了一次完整的歷程。建議日後教師們在進行科展培訓教學時，可以設計一堂課或是兩、三堂課就讓學生經歷發現問題、實驗設計、操作實驗、分析數據、獲得推論等歷程，在一學期的課程中讓學生有多次的完整學探究活動歷程，意即 Lawson (1988)所提出的學習環式(Learning Cycle)的科學探究教學，或許能更加提升學生科學探究能力。而本章第二節討論中指出，學生在針對實驗結果進行下結論的能力較弱，這也是教師們在進行科展培訓教學時可以加強的部分。

三、未來研究方向：

仍有許多有關科學探究能力教學與科學展覽活動相關的研究議題，值得未來研究探索：

1. 研究發展的科展培訓教學模組對於一般學生的科學探究能力發展之影響為何？
2. 不同學習成就學生在接受科展培訓教學模組後學探究能力發展有何差異？
3. 學生在科學展覽活動中，不同面向的科學探究能力發展機制為何？
4. 學生進行科學展覽活動時，科學探究相關的後設認知扮演的角色為何？
5. 學生在科學展覽活動時，後設認知如何幫助學生察覺實驗誤差和誤差來源為何？

參考文獻

一、中文部分

- 丁亞雯(2012)。以「課程與教學」為十二年國教推動核心—臺北市推動的策略與行動。中等教育，63(1)，183-187。
- 王保進(2006)。中文視窗版 SPSS 與行為科學研究。臺北市:心理出版社。
- 王晶瑩(2008)。科學本質觀與科學探究的意義及實踐：美國 Norman g. Lederman 教授訪談錄。全國教育展望，37(2)，3-6。
- 江良捷(2010)。資深科學展覽指導教師如何指導學生做科展。國立臺北教育大學自然科學教育學系碩士論文，未出版，臺北市。
- 李中一(2004)。測量工量的效度與信度。臺灣公共衛生雜誌，23(4)，272-281。
- 李明昆、洪振方(2011)。九年級學生探究性科學問題提問與問題發展型態之個案研究。科學教育研究與發展季刊，61，51-80。
- 宋雅鈴(2009)。應用歷程分析於生物科學探究評量之研究。國立交通大學理學院網路學習學程碩士論文，未出版，新竹市。
- 余尚芸(2003)。國二學生實施「專題導向式合作解題活動」之歷程分析。國立高雄師範大學數學系碩士論文，未出版，高雄市。
- 林建志(2008)。運用不同教學策略於不同回饋之實驗模擬對國中學生實驗技能與實驗態度的影響。臺灣師範大學資訊教育學系學位論文，未出版，臺北市。
- 邱韻如(2002)。以認知衝突的教學策略營造問答互動的討論情境：大一普物「單擺實驗」的教學實務探討。第十八屆科學教育學術研討會。彰化市：國立彰化師範大學。
- 洪振方(2010)。思考導向的探究式學習對國二學生科學探究能力的影響。科學教育學刊，18(5)，389-415。
- 徐佳璋(2007)。臺灣中小學科展活動之實務探究。科學教育，297，2-15。
- 徐國士(2001)。中華民國國中小科學展覽會實施要點。臺北市，國立台灣科學教育館。
- 高慧蓮(2005)。九年一貫課程「自然與生活科技領域」科學探究能力之培養研究-科學探究能力之評量(II)(NSC 94-2511-S-153-00)。臺北市：行政院國家科

學委員會。

高慧蓮(2006)。**九年一貫課程「自然與生活科技領域」科學探究能力之培養研究-子計畫二：科學探究能力之評量(III)**(NSC 95-2511-S-153-006)。臺北市：行政院國家科學委員會。

許瑛珣(2008)。**探討數位學習環境中學生科學探究歷程和學習策略—總計畫**(97-2511-S-003-022-MY3)。臺北市：行政院國家科學委員會。

張可彤(2008)。**科學展覽表現優良教師指導科展歷程之個案研究**。國立臺北教育大學自然科學教育學系碩士論文，未出版，臺北市。

張容君、張惠博(2007)。**國中學生「燃燒」概念診斷之研究**。*科學教育學刊*，15(6)，671-701。

教育部(2003)。**國民中小學九年一貫課程綱要：自然與生活科技學習領域**。臺北市：教育部。

曹淇峰、廖家榮、林志弘、邱美嬌、譚利亞、蔡蘊明(2009)。**探索式化學實驗課程之開發**。第 25 屆中華民國科學教育學術研討會。彰化，台灣。

莊創期(2003)。**國二生手與專家學生在科學探究過程的差異分析**。國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，高雄市。

陳文典(2002)。**自然與生活科技學習領域生活化課程設計**。臺北市：康軒。

陳名賢(2005)。**澎湖地區國民小學自然與生活科技教師教學困擾之研究**。國立臺南大學 教育經營與管理研究所碩士論文，未出版，台南。

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)，223-264。

陳振明(2003)。**影響高一學生科學創造力的因素之研究**。國立高雄師範大學特殊教育所博士論文，未出版，高雄市。

彭天音(2010)。**探討氣象探究網路競賽中學生科學探究能力的表現**。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，臺北市。

黃茂在、陳文典(2000)。**由教學模組看—「自然與生活科技」學習領域之教學。九年一貫課程的教與學**，75-84。

黃福坤(2004 年 8 月)。**實驗數據的處理與分析**。檢自

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=Notes/dataProcess>

- 楊進忠(2004)。以融入動態評量的實作教學策略探究國小六年級學童「電磁作用」概念之概念學習。國立臺北教育大學自然科學教育研究所碩士論文，未出版，臺北市。
- 葉世榮、曾正宜 (2003)。分析生物科學展覽得獎作品以研發創意教學法 (NSC92-2520-S-007-002)。專題研究計畫成果報告。臺北市：行政院國家科學委員會。
- 劉俊庚、邱美虹(2012)。我國百年國中科學課程發展回顧與展望。科學教育，347，2-20。
- 樊琳、李賢哲(2002)。以「專題研究」培養國小職前教師科學探究過程與教材開發能力之研究。師大學報，47(2)，105-12。
- 蔡執仲、段曉林(2005)。探究式實驗教學對國二學生理化學習動機之影響。科學教育學刊，13(3)，289-315。
- 蔡執仲、段曉林、靳知勤(2009)。巢狀探究教學對國二學生覺知教師溝通行為改變之探討。課程與教學，12(3)，129-152。
- 鄭英耀、王文中(2002)。影響科學競賽績優教師創意行為之因素。應用心理研究，15，163-189。
- 鄭英耀、李育嘉、劉昆夏(2008)。科展績優教師教學行為與學童創造力，問題解決能力之關係。教育與心理研究，31(1)，1-30。
- 鄭豐順(1996)。國中學生燃燒概念之診斷與探討。國立師範大學化學系碩士論文，未出版，臺北市。
- 魯俊賢、吳毓瑩(2007)。過程技能之二階段實作評量：規劃，實踐與效益探究。科學教育學刊，15(2)，215-239。
- 盧雪梅(1998)。實作評量的應許，難題和挑戰。檢自 <http://www.nmh.gov.tw/edu/basis3/20/jk2.htm>。
- 謝州恩、吳心楷(2005)。探究情境中國小學童科學解釋能力成長之研究。師大學報，50(2)，55-84。
- 鍾一華(2012)。支援國小科展探究教與學之網路科展探究系統的開發與評估。國立中央大學網路學習科技研究所碩士論文，未出版，桃園。
- 顏瓊芬、黃世傑(2003)。學生在開放式科學探究過程中互動模式之研究。科學教育

學刊，11(2)，141-169。

嚴婉尹(2008)。國中生科展經驗對其科學探究技能與歷程覺知之影響。國立臺灣海洋大學教育研究所碩士論文，未出版，基隆。

二、西文部分

- Akinoglu, O. (2008). Assessment of the inquiry-based project implementation process in science education upon students' points of views. *International Journal of Instruction*, 1(1), 1-12.
- Bevington, P. R. (1994). *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, New York: McGraw-Hill.
- Chang, C. Y., Hagmann, J. G., Chien, Y. T., & Cho, C. W. (2012). Leveraging educational pathway to bridge in-school and out-of-school science learning: A comparison of different instructional designs. *Journal of Baltic Science Education*, 11(3), 275-284
- Chen, Sufen. (2010). The view of scientific inquiry conveyed by simulation-based virtual laboratories. *Computers & education*, 55(3), 1123-1130
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), 42-44.
- Gess-Newsome, J. (2002). The use and impact of explicit instruction about the nature of science and science inquiry in an elementary science methods course. *Science & Education*, 11(1), 55-67.
- Gibson, H. L., & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science education*, 86(5), 693-705.
- Gomez, K. (2007). Negotiating discourses: Sixth-grade students' use of multiple science discourses during a science fair presentation. *Linguistics and Education*, 18(1), 41-64.
- Harmon, M., Smith, T. A., Martin, M. O., Kelly, D. L., Beaton, A. E., Mullis, I. V. S., Orpwood, G. (1997). *Performance assessment in IEA's third international mathematics and science study (TIMSS)*: TIMSS International Study Center.
- Jaw, W. C. (2006). *The effects of integrating learning cycle as strategy on Digital-Learning Content*. Unpublished master thesis, National University of Tainan, Tainan.
- Keys, C. W., & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science

- instruction effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661-667.
- Korsunsky, B. (2010). "The errors were the results of errors": Promoting good writing by bad example. *The Physics Teacher*, 48, 10.
- Kyriazi, E., & Constantinou, C. (2004). *The science fair as a means for developing investigative skills in elementary school*. Paper presented at the Proceedings of the 1st International Conference on Hands on Science.
- Lawson, A. E. (1988). A better way to teach biology. *American Biology Teacher*. 50(5), 266-289.
- Limniou, M., Papadopoulos, N., & Whitehead, C. (2009). Integration of simulation into pre-laboratory chemical course: computer cluster versus WebCT. *Computers & Education*, 52(1), 45–52.
- Masson, S., & Legendre, M. F. (2008). Effects of using historical microworlds on conceptual change: A p-prim analysis. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(3), 115-130.
- Menditto, A., Patriarca, M., & Magnusson, B. (2007). Understanding the meaning of accuracy, trueness and precision. Accreditation and Quality Assurance: Journal for Quality, *Comparability and Reliability in Chemical Measurement*, 12(1), 45-47.
- McComas, W. F. (2011). The science fair: A new look at an old tradition. *Science Teacher*, 78(8), 34-38.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*: National Academy Press Washington, DC.
- National Research Council. (2000). *The national science education standards*: Washington, DC: National Academies Press.
- Oregon Department of Education: Scientific Inquiry Test Scoring Guide.
http://science.www.gresham.k12.or.us/modules/groups/homepagefiles/gwp/1597670/1903222/File/Sc_Inq_Sc_Gde_HS_Eng.pdf
- Siegel, P. (2007). Having fun with error analysis. *Physics Teacher*, 45(4), 232.
- Rillero, P. (2011). A standards-based science fair. *Science and Children*, 48(8), 32-36.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science education*, 88(4),

610-645.

- Schwab, J. J., & Brandwein, P. F. (1962). The teaching of science as enquiry. *The teaching of science*, 3-103.
- Science, C. f., Mathematics, & Inquiry, E. E. C. o. D. o. a. A. t. t. N. S. E. S. o. S. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*: National Academies Press.
- Standards, N. R. C. N. C. o. S. E., & Assessment. (1993). *National science education standards*: National Academies.
- Tłaczała, W., Gorghiu, G., Glava, A., Bazan, P., Kukkonen, J., Maşior, W., Zaremba, M. (2006). *Computer simulation and modeling in virtual physics experiments*. Paper presented at the Proceedings of IV International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education. November.
- Trowbridge, L. S. & Whyte, R. W. (1986). *Becoming a Secondary School Science Teacher*. New York: Merrill Press.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science education*, 92(5), 941-967.

附錄

附錄一 數據分析活動教案與學習單

一、設計說明

活動名稱	數位模擬與真實單擺實驗				
設計者	郭泓男				
適用對象	國中七年級學生	班級人數	19 人	教學時間	二節課
教學模式	POE、小組合作學習	器材	電腦(兩人一台)、單槍、學習單、擺錘、棉繩、支撐架、量角器、碼錶、直尺		
科學探究面向		配合科學探究面相的教學設計內容			
P-a.數據的記錄		從數位模擬與真實單擺實驗讓學生學習將實驗數據進行紀錄			
P-c.數據的呈現		學生練習用 Excel 與學習單進行紀錄表格的呈現			
P-n.數據的轉換		學生練習用 Excel 與學習單練習畫折線圖			
D-n.資料的合宜性		從討論中讓學生了解實驗誤差的存在並討論對實驗數據的處理			
A-a.對結果的詮釋		從學生實驗結果討論如何詮釋實驗數據，與預期不符合時該如何處理，進而探討影響誤差之因素			

二、教學流程

教學活動	關鍵問題	評量方式	時間 (分)	教學 資源
第一節數據分析 I				
1. 在投影幕在展示單擺運動的動畫，簡介擺長、擺錘重量、擺角、週期之定義。	單擺運動有何特徵	學生參與度與是否專注	3min	電腦 單槍
2. 讓學生猜測擺長、擺錘重量、擺角與單擺週期的關係為何	這些因素會使週期變大還是變小	學生回答	2min	
3. 簡介 PhET 單擺模擬實驗與 Excel 軟體簡單操作(紀錄與畫折線圖)		學生參與度與是否專注	5min	電腦 單槍
4. 學生兩人一組進行實驗操作		學生參與度與操作軟體方式是否符合問題	20min	電腦

教學活動	關鍵問題	評量方式	時間 (分)	教學 資源
5. 學生將實驗結果上傳到教師端電腦，教師公布各組實驗結果並引導學生下結論	從各組數據可知什麼因素會影響單擺週期	學生紀錄 Excel 檔的完成度	8min	電腦 單槍
6. 教師引導學生討論各組數據為何不同，整理出可能存在的誤差因素	各組數據不同是因為那些原因	學生回答	7min	電腦 單槍
第二節數據分析 II 與誤差探討				
教師簡介單擺實驗相關材料，交代今日實驗任務：探討擺長對單擺週期的影響	回顧上週實驗結果與結論	學生參與度與是否專注	5 min	學習單、 單擺實驗相關材料
學生進行真實單擺實驗並記錄數據、繪製折線圖		實驗操作與數據紀錄是否正確	25min	學習單、 單擺實驗相關材料
學生小組報告實驗結果，教師公布實驗理論值，並比較各組操作實驗策略與結果差異	用那些策略來減少實驗的誤差	學習單 學生回答		學習單
引導學生分析影響本實驗之誤差因素以及歸納出可分為環境誤差與人為誤差	影響實驗的誤差來源有哪些，它們有何共同特徵或不同特徵	學習單 學生回答		學習單

科研社單擺實驗學習單

組員：

一、 我們計畫用那些策略來減少實驗的誤差？

二、實驗記錄

擺長	0.5m	0.7m	0.9m	1.1m	1.3m
擺動週期(1)					
擺動週期(2)					
擺動週期(3)					
平均					
理論值	1.43	1.68	1.91	2.16	2.30
數位實驗	1.33	1.69	1.94	2.13	2.30
數位實驗誤差					
實際實驗誤差					

擺錘重量：

擺角：30 度

三、討論：為何會有誤差的存在？以及探討這些造成誤差的因素是否能被控制？

造成誤差的因素	該因素能否被控制 ／ 如何控制

附錄二 科學探究能力實作評量

測驗說明：

1. 此份測驗是要了解學生在科學探究活動中所展現的能力，請依據題目指引進行實驗並作答。
2. 實驗以及填寫測驗卷時間為一小時。
3. 請利用提供的材料（軌道、木塊、玩具車...等等），設計實驗來探討兩個問題：(1)軌道傾斜角度與滑行時間的關係；(2) 玩具車重量與滑行時間的關係。試著釐清問題、進行實驗並針對實驗結果進行推測與結論。

研究者

南門國中郭泓男

受試者基本資料：

學校：

班級：

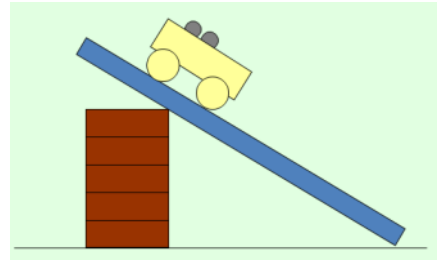
座號：

姓名：

性別：

一、斜面實驗說明

實驗目的是要討論影響斜面上滑車滑行時間之因素，請利用提供的材料（軌道、木塊、玩具車...等等），設計實驗來探討兩個問題：(1)軌道傾斜角度與滑行時間的關係；(2) 玩具車重量與滑行時間的關係。



依序完成以下表格及問題，並在完成實驗後針對實驗結果寫下結論。

二、實驗(1) 軌道傾斜角度與滑行時間的關係

(一) 實驗分析

變因	控制變因	操作變因	應變變因
實驗步驟			
誤差控制策略 (寫下你將使用那些方法來減少實驗誤差，增加實驗的精準度)			
預期結果			

(二) 實驗記錄

(利用以下表格紀錄你的實驗數據。ps.不一定要全部用到)

(三) 依據實驗所得數據，以適當的圖表呈現出來。

(四) 依據以上實驗所得數據，回答下列問題：

1. 根據步驟(三)繪圖狀況，試著用文字提出你的實驗結果：
2. 實驗結果是否符合你的預期結果，若不符合，推測其原因為何？
3. 依據實驗結果，說明軌道傾斜角度與滑行時間的關係為何？
4. 若不受限於現場提供之實驗裝置，你將如何設計或改善此實驗，以探討相同研究問題？
5. 在比對老師給的角度與滑行時間理論關係圖之後，比較你的繪圖與理論關係圖的差異，並試著思考會有此差異原因（或來源）為何？

三、實驗(2) 玩具車重量與滑行時間的關係。

(一) 實驗分析

變因	控制變因	操作變因	應變變因
實驗步驟			
誤差控制策略 (寫下你將使用那些方法來減少實驗誤差，增加實驗的精準度)			
預期結果			

(四) 依據以上實驗所得數據，回答下列問題：

1. 根據(三)繪圖狀況，試著用文字提出你的實驗結果：
2. 實驗結果是否符合你的預期結果，若不符合，推測其原因為何？
3. 依據實驗結果，說明滑車重量與滑行時間的關係為何？
4. 若不受限於現場提供之實驗裝置，你將如何設計或改善此實驗，以探討相同研究問題？
5. 在比對老師給予的滑車重量與滑行時間理論關係圖之後，比較你的繪圖與理論關係圖的差異，並試著思考會有此差異原因為何？

四、誤差來源分析

- (1) 請你寫下在此滑車斜面實驗操作過程中，包含了那些產生誤差的
因素以及它對實驗的影響：

誤差來源	對實驗造成的影響

- (2) 請寫下就你所認知，「誤差」在科學實驗中扮演了怎麼樣的角
色？而身為一位科學研究者，又如何去面對這些誤差？

附錄三 學生科展專題研究實驗誤差控制分析

小組成員：

誤差處理方式代號：A—找到改良實驗方法或重新進行實驗設計

B—多做幾次，取比較好的幾次數據

C—意識到這項誤差因素，但選擇無視它，不特別處理

D—意識到這項誤差因素但無法解決，放棄部分預定實驗內容

E—做完實驗或交完科展報告才發現有這項誤差因素的存在

O—其他處理方式請另外說明

請寫下你們的科展實驗過程中，含有那些造成誤差的因素，以及你們處理它的方式：

使我們實驗數據 產生誤差的因素	處理方式 (寫代號)	備註

附錄四 科展作品評分準則

面相	應用科學知識	溝通與表達	科學探究本質
形成問題或假說	F-a.概念的運用 3 提出和研究主題相關的科學概念並解釋之間的關係 2 提出和研究主題相關的科學概念但未說明之間的關係 1 提出的科學概念與研究主題不具高度關聯性 0 未提出任何相關的科學概念	F-c.問題的形成 3 呈現與研究背景具體相關的研究問題，並精確地解釋 2 呈現與研究背景具體相關的研究問題，但解釋不清楚 1 提出一個可理解的研究問題，但不能指明具體的研究方向 0 研究問題不合理或沒有依據	F-n.問題的科學性 3 形成的問題是屬於一個可以進行精確科學研究的問題 2 形成的問題可能進行以科學研究解決 1 形成的問題可以進行資料的調查但不能直接答覆問題或測試 0 不是一個科學問題
設計研究	D-a.變因的控制 3 操弄多個實驗變因，並清楚變相間關係 2 操弄多個實驗變因，並清楚變相間關係，但未考慮外在環境控制變因對實驗的影響 1 提出實驗變因，但實驗操弄上不清楚 0 提出不正確的實驗變因	D-c.步驟的設計 3 研究計畫結構完整，實驗步驟說明清楚 2 研究計畫結構完整，但實驗步驟說明不清楚 1 研究計畫說明簡略不完整 0 錯誤或不合理的研究計畫	D-n.資料的合宜性 3 提出實用的實驗設計，並能透過精確和有效的數據，清楚回答與研究問題與實驗之間的關係 2 提出實用的實驗設計，能夠清楚回答與研究問題與實驗之間的關係 1 提出的實驗設計，不能清楚回答與研究問題與實驗之間的關係 0 錯誤的實驗設計
蒐集並呈現數據	P-a.數據的記錄 3 紀錄符合複雜實驗程序的實驗記錄 2 紀錄的實驗記錄符合實驗步驟 1 紀錄的實驗記錄雖符合實驗步驟但包含明顯錯誤 0 錯誤或不一致的實驗數據	P-c.數據的呈現 3 能將數據轉換成清楚的圖表 2 能將數據轉換成清楚的圖表，但圖表的呈現並不完整(缺少物理說明、單位等) 1 呈現不完整的圖表 0 未呈現數據或呈現未整理的數據	P-n.數據的轉換 3 將數據轉換成圖表能清楚且聚焦地解釋研究問題 2 有效的數據轉換，並能促進進行科學解釋 1 呈現有效的數據轉換，但不能促進進行科學上的分析與解釋 0 未進行數據轉換
分析並解釋結果	A-a.對結果的詮釋 3 使用精確的科學概念、科學模型、科學用語來解釋實驗結果 2 使用正確的科學用語，以最低限度的錯誤來解釋實驗結果 1 依據實驗結果提出解釋，但邏輯可能有疑義 0 實驗結果的解釋沒有實驗數據的支持	A-c.對主題的討論 3 能清楚描述各變因間關係，並針對研究問題應用相關科學概念與數據下正確結論 2 描述觀察現象與變因間關係，但未說明理由 1 描述實驗觀察結果，但未作進一步解釋 0 未提出研究結果	A-n.檢視及評估 3 分析並批評的實驗設計與結果，提出具體的修改方法或延伸。 2 明確地指出研究限制或具體誤差來源 1 指出研究限制或具體誤差來源，但未說明清楚 0 未進行檢討或提出誤差來源與研究限制

附錄五 科展成果依科學探究面相評分

小組 子面相	一滴不漏	環保燃料對飛行 時間的影響	箭微之著	酸鹼值對植物 發芽與生長的 影響	綠豆曬太陽	各種溶液對植 物光合作用氣 體產量影響	熱敷包	水讓我們淨化 吧
F-a.概念的運用								
F-c.問題的形成								
F-n.問題的科學性								
D-a.變因的控制								
D-c.步驟的設計								
D-n.資料的合宜性								
P-a.數據的記錄								
P-c.數據的呈現								
P-n.數據的轉換								
A-a.對結果的詮釋								
A-c.對主題的討論								
A-n.檢視及評估								