

從食譜式實驗到探究的轉變

From cookbook experiments to inquiry-based science

Making the change from cookbook to inquiry.

- 以生物課綱細胞觀察實驗為例

國教院測驗與評量中心研究教師
中山女高 曹雅萍 Tsao Ya-Ping

CONTENTS

01

Why ?

02

How ?

03

What ?

04

評量

01

Why ?

為什麼要將食譜式實驗
轉變成探究式實驗？

基於課程的實驗教學目標

實驗教學是科學教育的重要組成，主要目標包括：

- 1) 科學理論的應用
- 2) 在實作過程中學習技能
- 3) 通過應用科學的過程來提高批判性思維能力
- 4) 提高興趣和學習動機

食譜式實驗

最普遍的實驗教學：食譜式實驗

- 優點

- 有效驗證已知原理
- 實驗技能學習：熟悉實驗器材的操作並認識科學儀器
- 建構有意義的經驗
- 團隊合作

因為所使用材料和教學時間都較少，實驗教學的成本較低

食譜式實驗

最普遍的實驗式教學法：食譜式實驗

- 缺點

- 像機器人一樣工作，可能會較為無聊
- 動手(hands-on)但缺乏動腦(minds-on)
- 缺乏使用該工具或記錄該現象背後的問題意識
- 訊息的認知處理層次較低，缺乏批判性思維技能、問題解決、結果解釋和評估實驗結果的能力。

但因簡化了科學探究的學習歷程，已被證明不如探究式學習有效，且難以改變迷失概念，或深化學生對概念的了解。

探究式實驗

課綱探究學習內容：

發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享

- 1) 學生提出相關的研究問題並設計實驗來回答這些問題
- 2) 學生應用在實驗室中學到的技術來收集真實數據。
- 3) 如果數據品質較差，學生將對他們的技術和/或實驗設計進行故障排除並重複實驗。
- 4) 最後，學生將解釋數據以回答他們最初提出的科學問題。

可真實地模仿了真正的科學實驗室經驗，同時提供了充足的實作機會，而對科學過程技能更有信心。

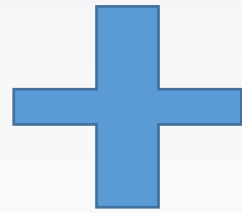
探究式實驗

- 優點：補足食譜式實驗的不足
 - 提高學生操作時的思維能力
 - 學生可學習全球化所需技能，如批判性思維、創造性思維、論證技能和解決問題的能力。
 - 學生的參與更為積極
 - 對科學概念的理解較深入，或可能改變迷失概念。

探究式實驗

- 缺點：
 - 時間過長
 - 學生的知識背景較弱，難以理解或進行
 - 需大量教師指導，以確保學生技術和實驗設計良好，可有效解決問題。

食譜式實驗



探究式實驗

基於課程(course-based)的
食譜式實驗到探究式實驗

高階思考定義

- 高階思考或高層次思考是指**進行比較、判斷和推理等的心理過程**。有別於經由感官或操作實物而得的直接經驗。
- 教師在教學中應扮演協助者而非主導者的角色，讓學生有更充分的思考空間，以求培養出能夠以多種方法解決問題、批判、創造和推理判斷的公民。

高階思考
Higher-Order Thinking
張文雄
2000年12月
教育大辭書



名詞解釋： 高階思考或高層次思考是指進行比較、判斷和推理等的心理過程。有別於經由感官或操作實物而得的直接經驗。這是一種可以經由學習而得的能力，其常見的特徵如：運作方式不固定、過程複雜且無法直接觀察、可獲得多種解決方式、使用多重且可能衝突的標準、具不確定性、自我調節而非依命行事、能由紛亂中尋出意義、及耗費心力等。學習如何思考是教育的重要目標，以往，教育重點在於培育菁英，因此通常只針對某些人來設計培養高層次思考能力的課程，在現今則是以全民為教育訴求，並因新知識快速增加，及認為學習應是一種使用及解釋訊息的過程，習得有效率之處理訊息的技能，比累積知識更為重要，因此教師在教學中應扮演協助者而非主導者的角色，讓學生有更充分的思考空間，以求培養出能夠以多種方法解決問題、批判、創造和推理判斷的公民。許多標準化測驗改以評量學生的高層次思考能力為重點，而習得的知識既以能否運用於實際情況為考量，實作評量(performance assessment)如檔案(portfolio)就常被用來進行高層次思考能力的評鑑。有研究顯示，即使施以補救教學亦常常無法協助學生發展其基本技能，但如果以為學生尚未習得基本技能，就延遲教授高層次思考，是一種錯誤的想法。因此有學者主張可以經由教授高層次思考，來幫助學生獲得基本技能，但是這方面仍需有更多實證性研究的支持。訓練學生高層次思考能力的方式很多，例如訓練學生使用電腦語言LOGO，讓學生由學習寫程式中，發現自己思考過程中的缺點，藉此促進學生的高層次思考。其後，也有研究者對BASIC、Pascal等電腦語言的功用進行廣泛探討，由於學生必須由與實際情況的互動中培養高層次思考能力，而這方面的任務(task)設計常是耗時、費錢、具危險性，有時甚至無法做到。所以常需運用電腦輔助教學中模擬(simulation)的功用來進行，讓學生在電腦的虛擬情境中，進行訓練。另外，尚有一些訓練高層次思考的方案，則是以培育學生後設認知能力(metacognitive ability)或形式思考(formal thinking)為取向。在科學課程中，不但應教導學生科學概念，也應鼓勵學生參與科學活動、解決問題、有效且清晰的以口語或寫作與他人溝通、合作、探究、創造思考等。因此有學者主張將促進學生思考能力與合作能力兩方面的研究相結合，期望促進學生在合作情境中的高層次思考能力。

02

How ?

如何將食譜式實驗轉變
成探究式實驗？

基於課程的食譜式實驗到探究實驗？

- 結構式或引導式的探究

- 使用"提示"，縮小實驗設計範圍，但比食譜式實驗有更大的實驗自由
- 引入實驗設計元素，讓學生參與實驗前的準備工作

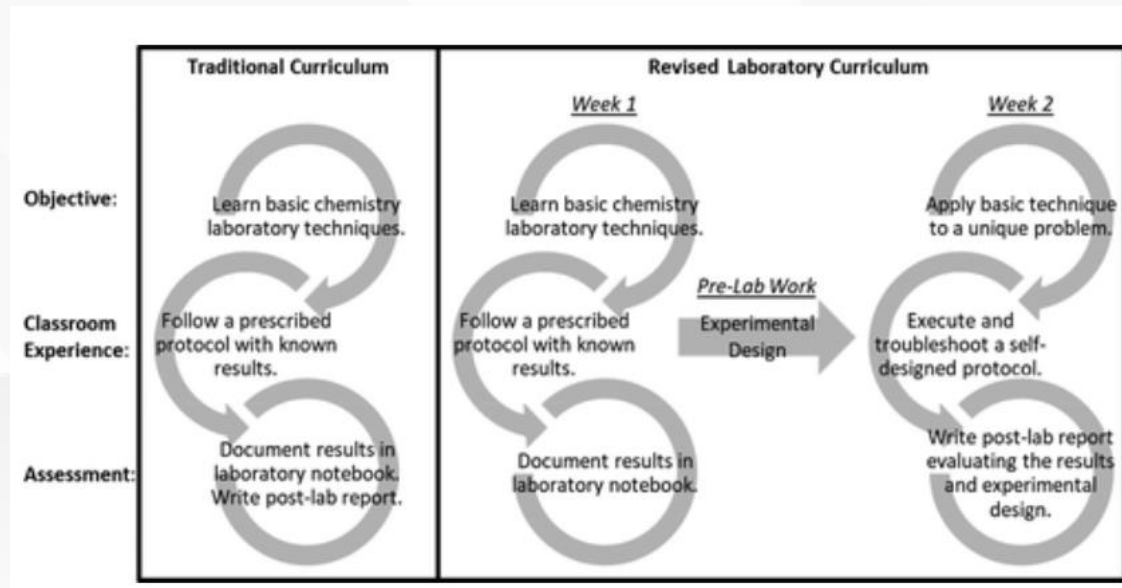
TABLE 1

Levels of Inquiry (Abrams et al., 2007) adapted from Schwab (1962) and Colburn (2000b)

	Source of the Question	Data Collection Methods	Interpretation of Results
Level 0: Verification	Given by teacher	Given by teacher	Given by teacher
Level 1: Structured	Given by teacher	Given by teacher	Open to student
Level 2: Guided	Given by teacher	Open to student	Open to student
Level 3: Open	Open to student	Open to student	Open to student

基於課程的食譜式實驗到探究實驗？

- 稍長的實驗時間，保留：
 - 食譜式實驗的實驗技能練習
 - 增加實驗設計的探究歷程



基於課程的食譜式實驗到探究實驗？

- 適當的提問：提供有情境脈絡的問題
 - 了解科學學習與生活的關係
 - 製造認知衝突或參與機會，以提高學生興趣

Table 4. The Problems for the CLP-BC with the inquiry-based SETS approach

No	Topics	Problems for the inquiry-based SETS activities
1	Colligative properties of the solution	Suppose you work in a company that produces methyl alcohol, ethyl alcohol, and isopropyl alcohol. Production employees suddenly forget to label the barrel containing alcohol. The shipping department wants to know what type of alcohol will be sent so they can put it in the appropriate truck. Your group is asked to identify alcohol in the barrel . The only available chemical known is tertiary butyl alcohol. All alcohol in the plant dissolves tertiary butyl alcohol.
2	Chemical equilibrium on the solubility	A homeowner is interested in buying water purifiers that are often offered in several advertisements on TV, the internet, and other media. Before buying the tool, the homeowner takes the initiative to test whether he really needs water purification or not. Therefore, he requests the services of a consumer advocate to check it. As a team works in consumer advocates, you are asked to check the hardness of the water owned by the homeowner. How do you check the water hardness level , including hard water or soft water? Also, advise homeowners about what should do!
3	Acid-base titration	Vinegar and olive oil are the main ingredients in most salad dressings. Acetic acid is available in vinegar. Vinegar is an aqueous solution that contains acetic acid as a solute. You are a member of the chemical analysis team. Your team is asked to analyze the quality of supplied vinegar in a company because the company has received complaints about the unsuitability of their dressings for the served salad. Indeed, the condition of olive oil is not a problem. Your team is asked to determine the concentration (molarity and percent mass) of acetic acid in vinegar samples that the company has distributed to restaurants.
4	Solubility Product	Water in the pool generally contains a number of dissolved calcium ions. The swimming pool is purified with the addition of several chlorination agents. Calcium hypochlorite is commonly used. Besides, calcium ions emerge from plaster lining the pond. Plaster is a hydrate of calcium sulfate. A swimming pool company has recently contacted your group to address complaints from several customers. Customers have complained about plaster in the pool that began to disappear after one year. The company wants to know how many plasters that might be dissolved before the pool water becomes a saturated solution of calcium sulfate. At first, the swimming pool includes soft water (non-hard water) which does not contain calcium ions.
5	Voltaic Cells	Suppose your group is stranded somewhere in the sea and you have to turn on the global positioning system (GPS). You do not have a replacement battery, but you have a bag full of coins. How much voltage can you make from this coin to make a battery?

03

What ?

以生物課綱 細胞觀察實驗為例

作者：竹東高中韓中梅老師

共同作者：台中女中薛靜瑩老師、中山女高顏映帆老師

學校科學教育與學習的目標

在科學教室裏應該教些什麼？

如何在課堂上教授科學？

探究的認知層面

科學技能背後的
認知過程

科學概念和原理
背後的學科推理

探究的社會層面

學生說話的機會

互動模式

紅血球的測量與探究

作者：竹東高中韓中梅老師

共同作者：台中女中薛靜瑩老師、中山女高顏映帆老師

主題：紅血球的測量與探究

教案特色：

- 改編課綱實驗，以同時培養實驗技能背後的認知過程與探究能力。
- 以紅血球細胞取代玻片標本或頭髮，並以適當提問引發認知衝突，提升學習動機。

紅血球的測量與探究

學習活動大綱



活動準備

- (一) 課程投影片
- (二) 採血套件、抹片套件、學生每人一個實驗代碼
- (三) 複式顯微鏡、顯微觀察套件
- (四) 事前於雲端教室設定作業
 1. 採血影片、抹片影片、顯微測量影片
 2. 以google sheet 整理數據並計算平均與標準差影片
 3. 有目鏡測微刻度的不同年齡個體的紅血球顯微照片
 4. 實驗數據問卷
 5. 個人報告檔案
- (五) 白板、黑板或討論牆
- (六) 每組一台電腦、平板

實驗報告撰寫說明：

實驗報告有常用的格式項目，但最終目的為清楚呈現研究者的研究架構與結果，以供科學社群共同討論結論是否合理及完備。因此每個項目下要探討的內容，均需說明如何在邏輯上或嚴謹程度上影響結論，可以參照下列建議。

	說明
預報內容	<p>一、實驗目的—說明想探討的問題為何？</p> <p>二、實驗假說—說明對問題的初步猜想</p> <ol style="list-style-type: none">1. 假說背後的原理：說明所提出猜想的背後原理2. 實驗技術的原理：說明進行本實驗所用到的理論或方法3. 實驗設計：<ol style="list-style-type: none">a. 這個實驗的實驗組與對照組的設計中，操縱與控制變因各是哪些？b. 應變變因是什麼？如何測量？測量所得的數據為何可用來<u>有效</u>評估操縱變因的影響？c. 在測量應變變因時，在測量技術上可能有哪些因素使得數據的<u>可信度</u>降低？可能可以如何提高可信度？d. 控制變因若沒有控制好，可能使「應變變因在反映操縱變因所帶來影響」的<u>可信度</u>降低的原因為何？e. 預計重複幾次實驗？使用哪些統計值來評估數據所呈現的趨勢？4. 實驗預測：根據假說背後原理及實驗技術，分別預測實驗組與對照組的數據趨勢 <p>三、實驗材料—詳列實驗進行中所使用的材料及數量</p> <p>四、實驗步驟—依照實驗進行的步驟繪圖表示並註記實驗進行時務必注意的重點</p>

04

Assessment

作者：竹東高中韓中梅老師

共同作者：台中女中薛靜瑩老師、中山女高顏映帆老師

實驗報告評分規準：

- 實驗報告的撰寫是科學探究重要的總結性評量，除了可利用整理實驗結果的機會彙整自己的探究所得，反思檢討探究歷程，並釐清下一階段的探究方向外，亦可利用實驗報告表達分享自己的探究所得。
- 而為了引導學生彙整出有助於進一步探究和科學溝通的實驗報告，適當的說明，並以評量規準提供適當的輔助有其必要性。

實驗報告評分規準：

報告要求

一、實驗目的—想透過進行本實驗探討的問題為何？

二、實驗設計—說明自己的實驗假說、根據原理及實驗技術

這個實驗的實驗組與對照組的設計是甚麼？

在實驗前，就實驗可能知結果進行推理與預測。

依照實驗設計的原理，應該會出現哪些結果，以驗證或否決實驗假說？

三、實驗材料—詳列實驗進行中所使用的材料及數量

四、實驗步驟—依照實驗進行的步驟繪圖表示，並註記實驗進行時務必注意的重點

五、實驗結果—將實際結果、數據或圖表詳列紀錄之。

六、實驗討論—實驗結果如何回答你的問題

*針對實驗結果討論各項設計中的變因對結果之影響。

*對於預期以外的實驗結果提出可能原因或改善方法。

-你用甚麼方法讓數據更為可信？(材料、實驗方法、統計方法)

-有其他資料可以支持你的數據或結果嗎？

-你學到甚麼科學家進行科學調查時要注意的事情？

七、參考或引用文獻—實驗進行與報告書寫所參考的資訊，於此詳列說明。

格式— 作者 年代 書名及頁數 出版社

作者 年代 篇名 期刊名 (頁數)

參考或引用的文獻必須是教科書或是有同儕審查 peer-review 的科學期刊文獻

總結性評量評分

- 而當學生了解時要報告書寫要點後，接下來則需根據不同的評量目的，設定評分的規準。
- 若為總結性評量，則會依學生的實驗報告的優劣給於適當的成績，所以會再依面向的不同予學習的重點，給予於適當的權重。例如實驗討論，會是整份實驗報告中最希望學生學會的重點，且須要學生思考和整理部分較多，所以此部分會占比較大的權重，在下面的示例中占比為30%；而實驗目的部分，則需要整理的部分較少，所以僅占比5%。

總結性評量向度

標題	<ol style="list-style-type: none">1. 能清楚明確指出主題及主要觀點。2. 實驗名稱完整且確切。
前言	<ol style="list-style-type: none">1. 須包含：可預測了主題的結果、已有證據證明這一論點，並提供了與主題相關的基本訊息。使讀者能了解研究主題的意義。2. 完整陳述實驗目的；能清楚陳述變量與結果間之關係且符合邏輯；相關理論都清楚且具體描述。
實驗步驟	<ol style="list-style-type: none">1. 實驗過程中所有材料清楚指出使用方法；實驗步驟的撰寫方式可供其他實驗者重複進行操作。2. 實驗方法清楚說明、簡要，呼應實驗設計，並可重複運用，且清楚掌握自應變項。3. 學生應明確了解自己設計的實驗以及與現有方法相比，有哪些更改或改進的。
結果	<ol style="list-style-type: none">1. 描述實驗觀察的所有定性和定量結果。數據圖表化、所有的圖表經編號、附上標題且參考資料。並能將收集到的數據圖表分析後能進一步論證原本的主張。2. 圖表清楚、正確，且整齊標示，容易了解；所測得數據要列表清楚交代，套數及組數都要照實驗題目。評估並與適當的模型進行比較。
討論	<ol style="list-style-type: none">1. 利用額外的證據或資訊進行完整的討論與說明。亦充分討論實驗結果。在兩項重要的訊息間建構起連結。為論證與反證提供證據，成功說服讀者支持原本的主張。2. 實驗中所有的資料都能正確的統整，並清楚的分析 and 交代過程。應評估和討論數據不確定性的程度。應通過輔助或直接計算驗證數據。
結論	<ol style="list-style-type: none">1. 以作者的觀點提供給讀者清楚且完整的了解並總結。有效的重述主張並統整證據支持實驗假設。2. 考慮尚未解決的問題並提出需要進一步研究的領域。
參考文獻	<ol style="list-style-type: none">1. 學生自行蒐集彙整實驗相關資料，並完整呈現與他人的研究相關的領域資料，作為實驗討論。2. 能依照APA格式列出至少三項參考資料來源。

總結性評量評分

	具有科學探究能力	具有科學探究的基礎	僅達基本要求	未達基本要求
實驗目的 5%	指出要探討的「問題」 <u>15%</u>	僅有呈現「觀察層次」 <u>10%</u>	僅寫出關鍵字 <u>5%</u>	未列出實驗目的 <u>0%</u>
實驗原理 15%	列出作用與現象，並說明為何可以用來探討「問題」 <u>15%</u>	僅列出「作用、現象」，不了解原理為何可以用來探討「問題」 <u>10%</u>	未列出完整、正確的「作用」、「現象」 <u>1%</u>	未列出「作用」、「現象」 <u>0%</u>
實驗步驟 25%	步驟以簡圖加註重點文字，有助實驗操作 <u>10%</u> 可能可以新增取樣與測量如何降低誤差	實驗步驟有以簡圖表示 <u>5%</u>	步驟只依照課本文字抄寫 <u>1%</u>	未列出實驗步驟 <u>0%</u>
實驗結果 30%	以正確的統計、圖表呈現實驗數據作為結果 <u>25%</u>	有呈現實驗結果或數字，但沒有以正確的統計、圖表重新整理結果 <u>15%</u>	直接以所得的數據作為實驗結果，稍加整理 <u>10%</u>	直接以實驗中所得的數據作為實驗結果，只簡單的條列 <u>1%</u>
實驗討論 20%	就目的所列問題討論結果並將課本問題融入討論的脈絡，更對實驗設計與結果有更完整的討論 <u>30%</u>	就實驗目的所列問題討論實驗結果並將課本所列問題融入討論的脈絡 <u>20%</u>	有就目的所列問題討論結果 <u>10%</u>	僅以課本所列問題作為實驗討論 <u>5%</u>
引用文獻 5%	有搜尋課本以外資訊，充實討論內容，資訊來自經同儕審查的來源，可信度高 <u>10%</u>	有搜尋課本以外的資訊，充實討論，但資訊屬未經同儕審查的來源，可信度低 <u>8%</u>	僅參考課本 <u>5%</u>	沒有註明資料來源 <u>0%</u>

參考文獻

台北市教育局 (2019)。『有「評」有據看素養－實作評量的課堂應用』。 <https://reurl.cc/NZG3rk>

Blanchard, Margaret & Southerland, Sherry & Osborne, Jason & Sampson, Victor & Annetta, Leonard & Granger, Ellen. (2010). *Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction*. *Science Education*. 94. 577 - 616. 10.1002/sce.20390.

Farley, Elijah & Fringer, Victoria & Wainman, Jacob. (2020). *Simple Approach to Incorporating Experimental Design into a General Chemistry Lab*. *Journal of Chemical Education*. 98. 10.1021/acs.jchemed.0c00921.

Imaduddin, Muhamad & Hidayah, Fitria. (2019). *Redesigning Laboratories for Pre-service Chemistry Teachers: From Cookbook Experiments to Inquiry-Based Science, Environment, Technology, and Society Approach*. *Journal of Turkish Science Education*. 16. 489-507. 10.36681/tused.2020.3.

附件：

部定必修生物細胞學探究與實作教案設計

實驗教學是科學教育的重要組成，但目前教科書中的的實驗課程內容往往著重在操作或練習一項工具、觀察記錄某個現象或是驗證已知原理，缺乏使用該工具或記錄該現象背後的問題意識。更不用說為了考量教學現場的實踐，簡化了探究提問的學習歷程，進而導致在實質上忽略了科學探究過程的練習。

雖然在 108 自然課綱中強調了探究與實作，並在單獨開設的「自然領域探究與實作」課程中，讓學生培養探究能力，但發現問題、規劃與研究、論證與建模和表達與分享等素養的建構，更應融入部定必修或選修的科學課程中，才能真正融合學科知識的應用，而更貼近科學教育的目標：科學知識內容背後的學科推理與科學技能背後的認知過程(圖 1) (Jin, H., Wei, X., Duan, P., Guo, Y., & Wang, W, 2016)。

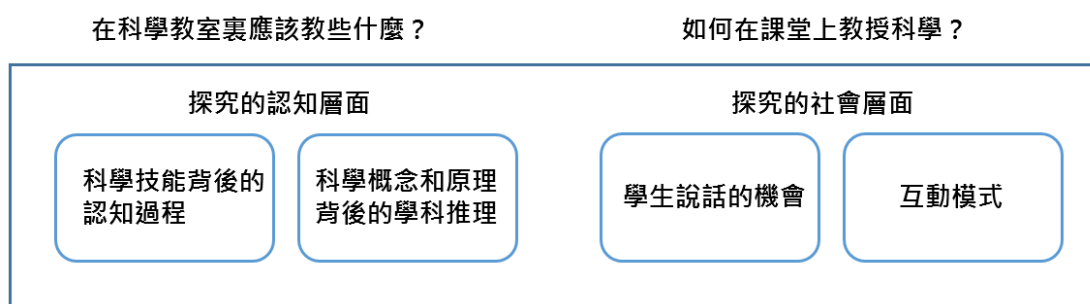


圖 1：學校科學教育與學習的目標

本文嘗試將探究與實作的精神融入高一必修生物的實驗--顯微測量單元，讓學生在生物課程學習上，不僅只有學習顯微測量技術，更能結合學科知識，利用所學的技术深化探究能力。

紅血球的測量與探究

壹、教案特色

本教案主題為利用顯微鏡測量活血球細胞的大小，但教案設計的流程讓學生不會停留在測量細胞大小，而是利用測量自己的紅血球大小，探究可能影響血球大小的因素，從而思考實驗設計時如何降低誤差的各種方式。

選擇這個主題的原因是可以對學生造成一定程度的認知衝突，而引發學生參與的動機。學生對於自身的議題通常較感興趣，也常直覺性的認為紅血球大小會受到個人因素的影響，但必須要透過真正探究才能支持（或否定）自己的直觀想法。

觸發學生學習興趣後，再透過學生自行訂立研究主題（針對血球大小和個人背景變項進行提問），規畫實驗流程（學習實驗取樣設計、血液塗片製作和顯微測量技術），依據所得數據進行分析（平均值與標準差），再撰寫實驗報告（正確選用製作科學圖表、進行科學寫作）以統整探究結果回應研究主題。期望能消彌實驗課程因規劃、限定的課本實驗步驟和問題與討論，而與科學過程技能與其背後認知過程斷裂的情形。

故依上述說明，整理出本教案的特點有二：

- 一、改編課綱實驗，以同時培養實驗技能背後的認知過程與探究能力。
- 二、以紅血球細胞取代玻片標本或頭髮，並以適當提問引發認知衝突，提升學習動機。

貳、教案內容說明

一、學習活動大綱



二、活動準備

(一) 課程投影片

(二) 採血套件、抹片套件、學生每人一個實驗代碼¹

(三) 複式顯微鏡、顯微觀察套件

(四) 事前於雲端教室設定作業²

1. 採血影片、抹片影片、顯微測量影片

2. 以 google sheet 整理數據並計算平均與標準差³影片

3. 有目鏡測微刻度的不同年齡個體的紅血球顯微照片

4. 實驗數據問卷

5. 個人報告檔案⁴

(五) 白板、黑板或討論牆

(六) 每組一台電腦、平板⁵

¹避免洩漏個資

²相關影片建議教師於課前拍攝或搜尋網路資源

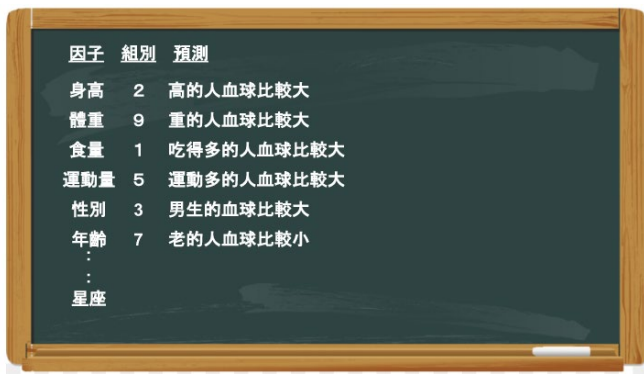
³可視學習目標加入[統計T檢定簡介影片](#)

⁴設定為每個學生均有專屬副本

⁵或以一張海報紙與一組美工筆代替

三、活動流程

第一節課				探究實作學習內容/學習表現
	課程流程	教學目的與引導方向	教師準備	
1	<p>教師：我們今天來讓大家量自己的紅血球大小 今天會讓大家都用自己的紅血球來做研究 除了會學如何量細胞大小以及更客觀的分析數據 也會學到如何像科學家一樣為自己的研究寫一份報告 (不再像國中國小那樣填寫人家規定的問題)</p>	宣告學習目標	教師播放投影片：紅血球有多大？	
1	<p>教師提問：根據研究，人類的紅血球大約是 6~8 微米，大家認為不同人的紅血球一樣大嗎？ 學生提出猜測：一樣大 or 不一樣大</p>	引起動機	<p>教師播放投影片顯示下列文字：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 不同人的紅血球一樣大嗎？ 	發現問題—觀察現象—推測所觀察現象的可能成因
5	<p>教師提問：如果不同人的紅血球可能不一樣大的話，可能有哪些因素會讓某些人的紅血球比較大，某些人的比較小呢？ →學生提出猜測：性別、身高、體重、年齡、血型、運動量、每日攝取的熱量……</p> <p>教師將學生猜測寫在黑板（第一欄）上作為主題，並且增加一個學生沒有提到的主題（例如星座）</p>  <p>教師提問各項猜測的可能理由 學生提出可能理由（教師僅口頭重述）</p>	<p>尋找操縱變因</p> <p>星座作為後續示範提問的材料，避免用學生所提變因演示</p> <p>引導學生評估變因的合理性（如果無法提出合理的理由，就不列入）</p>	<p>教師事先準備問卷（範例），根據學生提出因素，現場進行微調輸入項目</p> <p>投影片、白板</p>	<p>※學生自行決定探究方向</p> <p>發現問題—訂定問題—依據討論提出適合科學探究的問題 ※學生小組討論探究問題</p>
5	<p>教師請小組討論選定一個共同研究的因子，到黑板上的主題旁登記組別（由上到下）及預測結果</p>	引導學生選定操縱變因並提出假說		



*同一主題可以開放兩組以上登記

學生：小組討論後到黑板上登記並寫出預測

5 教師提問引導學生形成小組的探究問題

1. 教師利用投影片展示不同的提問方向，說明探究的問題有很多種形式，例如
- 星座是否影響紅血球大小
 - 星座如何影響紅血球大小
 - 星座為什麼（透過什麼機制）影響紅血球大小

教師提問：

如果我們要做實驗找出他們的答案，哪一種問法的實驗最簡單？

學生回答：「是否」的問題

教師回饋：是否的問題真的最容易的，只要看有沒有影響

哪一種問法哪一種問法的實驗最複雜？

學生回答：「為什麼」的問題

若學生回答「如何」的問題，則引導向「『如何』的問題在探討變因間的關係，的確要做很多實驗才能確定。『為什麼』的問題則往往需要先確認數個關係，然後才能討論因果關係。

而為什麼的問題往往還可能會演變為以學科知識說明、解釋和回答問題，而非引發進一步的探究。

引導學生思考不同疑問詞的研究方向不同

因為後續需要學生練習以自己選定的變因練習提問，使用星座為例，可以避免佔掉某個小組的練習機會。

教師總結在「做實驗就能確定的是『是否』、『如何』的問題，而『如何』的問題是在探討“數據變動”關係，通常是我們更能拿來利用的。

教師播放投影片

- 星座是否影響紅血球大小
- 星座如何影響紅血球大小
- 星座為什麼（透過什麼機制）會影響紅血球大小

5 學生小組討論自己想探究的問題在哪個層次，將問句寫在黑板（第四欄）上。

因子	組別	預測	探究的問題
身高	2	高的人血球比較大	身高如何影響紅血球的大小？
體重	9	重的人血球比較大	體重是否影響紅血球的大小？
食量	1	吃得多的人血球比較大	食量是否影響紅血球的大小？
運動量	5	運動多的人血球比較大	運動量如何影響紅血球的大
性別	3	男生的血球比較大	性別是否影響紅血球的大小？
年齡	7	老的人血球比較小	年齡如何影響紅血球的大小？
：			
星座			

教師在全班寫完白板後，

1 教師提問引導學生規劃實驗

教師：從問題中已經可以看到操縱變因與應變變因。
利用畫記標示操縱變因及應變變因

因子	組別	預測	探究的問題
身高	2	高的人血球比較大	身高如何影響紅血球的大小？
體重	9	重的人血球比較大	<u>體重是否影響紅血球的大小？</u>
食量	1	吃得多的人血球比較大	<u>食量是否影響紅血球的大小？</u>
運動量	5	運動多的人血球比較大	<u>運動量如何影響紅血球的大</u>
性別	3	男生的血球比較大	<u>性別是否影響紅血球的大小？</u>
年齡	7	老的人血球比較小	<u>年齡如何影響紅血球的大小？</u>
：			
星座			

國中我們學過還有什麼變因呢？

學生回答：控制變因

引導學生辨識操縱變因與應變變因

規劃與研究－尋找變因－判定與研究問題相關的影響因素
※學生討論選擇哪些控制變因

規劃與研究－擬定研究計畫－依據所提出的問題，計畫適當的方法、材料與流程

8 教師說明：

1. 如果我們做很多次測試，能把控制變因都維持得很精準，只有操縱變因不同時，如果看到結果不同，就比較有把握真的是操縱變因所造成的。
2. 找控制變因不是亂找，最好的方向就是前面列舉的所有我們「合理」推測可能影響的因子。我們挑一個作為操縱變因，剩下的就是控制變因。
3. 但生物是複雜系統無法讓所有控制變因維持不變
所以生物研究中有兩種方法減少控制變因帶來的影響
→利用取樣方式來減少控制變因的影響程度
→利用統計分析不穩定的控制變因的影響程度（後面會教，所有組都會在數據分析時用到統計工具）

教師提供三種取樣設計，學生小組討論並決定取樣方式

1. 嚴格取樣法 A：選控制變因相同的樣本

各種星座都挑選相同身高、體重....、運動量的人。共 N 人。

請依據時間及班級狀況安排引導學生討論「個體間」與「個體內」的誤差

引導學生認識「如何減少個體間帶來的誤差」

以取樣設計減少生物系統中控制變因帶來誤差的方法

教師播放投影片
簡單系統可以讓所有控制變因維持不變
複雜系統無法讓所有控制變因維持不變
→利用取樣設計減少影響
→或利用統計工具分析影響程度

教師播放投影片顯示三種取樣設計

問題，計畫適當的方法、材料與流程
※學生選擇取樣方式

2. **分級取樣法 B**：針對各控制變因做分散、平均取樣
將身高、體重...、運動量分為不同等級。各種星座四種血型的人中，每種等級都找相同人數。共 N 人。
3. **隨機取樣法 C**：隨機挑選，配合統計進行評估
各種星座，隨機挑選。共 N 人。
但調查受試者的身高、體重...、運動量
以統計分析檢測控制變因是否顯著影響應變變因（或以標準差評估組間差異）
學生小組討論取樣方法，並登錄於黑板上的問句後方（第五欄）

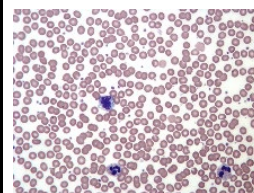
因子	組別	預測	探究的問題	取樣
身高	2	高的人血球比較大	身高如何影響紅血球的大小？	隨機
體重	9	重的人血球比較大	體重是否影響紅血球的大小？	隨機
食量	1	吃得多的人血球比較大	食量是否影響紅血球的大小？	分級
運動量	5	運動多的人血球比較大	運動量如何影響紅血球的大小？	分級
性別	3	男生的血球比較大	性別是否影響紅血球的大小？	嚴格
年齡	7	老的人血球比較小	年齡如何影響紅血球的大小？	隨機
:				
星座				

- ◆ **嚴格取樣法 A**
選控制變因相同的樣本
各種星座都挑選相同身高、體重...、運動量的人。共 N 人。
- ◆ **分級取樣法 B** 針對各控制變因做分散、平均取樣
將身高、體重...、運動量分為不同等級、各種星座、四種血型的人中，每種等級都找相同人數。共 N 人。
- ◆ **隨機取樣法 C** 隨機挑選，配合統計進行評估
各種星座，隨機挑選。共 N 人。
但調查受試者的身高、體重...、運動量
以統計分析檢測控制變因是否顯著影響應變變因
（或以標準差評估組間差異）

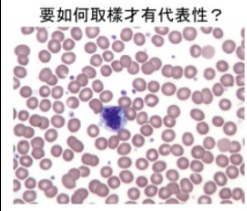
- 2 教師提問：（展示紅血球抹片放大圖）
你的紅血球有多大？每個紅血球都一樣大嗎？
學生觀察後回答：不一樣
教師提問：
如果這是你的血球照片，不一定每個都一樣大，而且不是圓形的喔。
你要怎麼決定「你的紅血球有多大？」
學生：量很多個（多個細胞長徑），然後平均
學生：量最大的與最小的血球長徑，然後取中位數

引導學生有重複測試的概念

教師播放投影片
血液抹片顯微照片



在顯微照片的上方顯示
要如何得到「具有代表性的數值？」



5 教師：是的，重複測量後取平均是一個很常被科學家採用的方法。
測量很多個也有不同的方式，適合不同的狀況。
像是

1. 採血 n 次，每次挑 1 個血球的長徑後取平均
2. 採血一次，隨機挑 n 個視野，每個視野下挑 1 個血球取平均。
3. 採血一次，沿水平或垂直軸挑 n 個視野，每個視野下挑 1 個血球取平均
4. 採血一次，在玻片範圍平均散佈挑 n 個視野，每個視野下挑 1 個血球取平均

大家可以根據視野下的狀況討論要用哪一個，能提高「平均值的代表性」

學生小組討論測量策略，並寫在黑板上

因子	組別	預測	探究的問題	取樣	測量
身高	2	高的人血球比較大	身高如何影響紅血球的大小？	隨機	採 n 次，各 1 個
體重	9	重的人血球比較大	體重是否影響紅血球的大小？	隨機	採 1, 隨機 n 個
食量	1	吃得多的人血球比較大	食量是否影響紅血球的大小？	分級	採 1, 水平 n 個
運動量	5	運動多的人血球比較大	運動量如何影響紅血球的大小？	分級	採 1, 垂直 n 個
性別	3	男生的血球比較大	性別是否影響紅血球的大小？	嚴格	採 1, 散佈 n 個
年齡	7	老的人血球比較小	年齡如何影響紅血球的大小？	隨機	採 1, 隨機 n 個
:					
星座					

引導學生認識
「如何減少樣本內帶來的誤差」

思考單一樣本的測量取樣與代表性的關係

教師播放投影片

1. 採血 n 次，每次挑 1 個血球的長徑後取平均
2. 採血一次，隨機挑 n 個視野，每個視野下挑 1 個血球取平均。
3. 採血一次，沿水平或垂直軸挑 n 個視野，每個視野下挑 1 個血球取平均
4. 採血一次，在玻片範圍平均散佈挑 n 個視野，每個視野下挑 1 個血球取平均

3 教師提問：要測量幾個？才「有代表性」並「在時間許可範圍內」？
全班決定每個人統一測量 n 個細胞（全班討論）

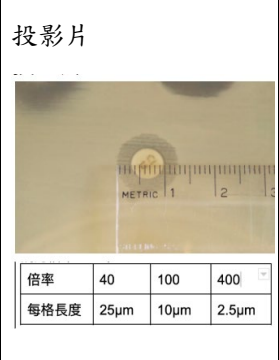
引導學生思考採樣數量的意義與評估

3 教師：我們今天學一個方法：顯微測量。
以投影片展示目鏡測微測量紅血球照片，及不同的倍率下的代表長度（強調總倍率 400X）

倍率	40	100	400
每格長度	25 μ m	10 μ m	2.5 μ m

因為紅血球是橢圓形，所以我們這次都量長徑

明確說明測量長徑



5	<p>教師指示：</p> <p>我們之前有觀看線上教室採血及抹片影片請依影片內容請來領取器材（事先以組為單位放置於講桌）</p> <p>請小組依據影片模擬採血及抹片流程，確認器材備妥並於桌面依適合的動線放置</p> <p>學生依照先前觀看線上教室的<u>採血影片</u>，確認器材、模擬流程</p>	<p>引導學生如何能安排且安全的操作</p>	<p>事前將各組器材依組別準備在講桌上</p> <p>*需確認各組都有採血針、採血筆，及需要老師協助採血的人員</p>	<p>規劃與研究—收集資料數據—正確且安全操作器材設備</p> <p>※學生於課前自行熟悉操作流程</p>
10	<p>學生實際採血並製作抹片</p> <p>（等待抹片風乾時，學生輸入問卷相關項目）</p> <p>學生確認數據有填入線上問卷</p> <p>教師發給每個人一個<u>實驗代碼</u></p> <p>填寫個人資料：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 實驗代碼 • 身高、體重、性別、肌肉量（可以在前一節課測量完畢）、血型 • 測量 n 個細胞的個別長徑 	<p>學生學習血液抹片及水包埋玻片製作技術</p>	<p>老師發放實驗代碼</p> <p>（此為亂數產生器，減少個資風險的實驗倫理問題，可與學生分享）</p> <p>*若有組別選擇年齡，教師須另外提供不同年齡的紅血球顯微數據（有目鏡測微刻度）</p> <p>*如果教師指定樣本個體取樣方式，只開放小組決定個體內測量方式會比較簡單</p>	

第二節課

10	<p>學生紀錄測量結果</p> <ul style="list-style-type: none"> • 學生操作水包埋步驟，蓋片後練習顯微測量。（拍照並）輸入至問卷 • （以手機拍照顯微測量結果，每個人依照測量策略拍照測量） • 依全班設定的測量細胞數目進行測量，並記錄數據 	<p>學生練習顯微測量</p>		<p>規劃與研究—收集資料數據—系統性地收集定量資料數據</p>
20	<p>數據整理與分析</p> <p>全班一起看數據，教師說明紅血球平均長徑為 6~8μm，檢查全班數據</p> <p>（強調不可任意以誤差為由刪除數據）</p> <p>平均值與標準差</p> <p>1. 教師提問：要用什麼數字代表「一個人的紅血球長徑」</p>	<p>若能安排學生在事先看完製作圖表影片，則此處讓學生直接以電腦做圖</p>	<p>須提供每組至少一台電腦</p> <p>將問卷結果產生試算表</p> <p>並依學生所選變因整理為新試算表</p> <p>（可做示範版本）</p>	<p>論證與建模—分析資料與呈現證據—使用資訊與數學方法，有效整理資料數據。</p>

	<p>引導學生回想到數學中的標準差 (僅有平均值不一定有意義，需要標準差)</p> <p>2. 教師提供影片示範操作如何用試算表取得平均值與標準差 (影片 1、影片 2 放於雲端教室)</p> <p>3. 小組以試算表計算平均值與標準差</p> <p>繪製圖表</p> <p>1. 教師在布幕投影出「繪製圖表注意事項」</p> <p>(1) 思考選擇長條圖、折線圖、散佈圖或圓餅圖的理由</p> <p>(2) 確定縱橫座標軸的名稱、單位及刻度</p> <p>2. 教師提供影片示範操作如何用試算表取得趨勢線、r^2 及其意義 (影片放於雲端教室)</p> <p>3. 小組以試算表繪製圖表</p> <p>(1) 加入趨勢線</p> <p>(2) 讀取 r^2</p> <p>4. 小組討論根據數據，提出結論，並寫在圖表標題</p>	<p>或者請學生於海報、黑板或白板上繪圖亦可。</p>	<p>(亦可讓學生自行整理)</p> <p>試算表連結上傳雲端教室</p> <p>在白板上顯示數據整理方式</p> <ul style="list-style-type: none"> • 平均與標準差 	<p>※學生使用試算表計算平均值與標準差</p> <p>論證與建模—分析資料與呈現證據—由所得資料數據整理出規則</p> <p>論證與建模—解釋與推理—由資料數據的變化趨勢，看出其蘊含的意義</p> <p>※學生使用試算表取得趨勢線與 r^2</p> <p>論證與建模—解釋與推理—由探究所得的解釋形成論點</p>
10	<p>小組發表</p> <p>1. 教師挑選結論相關或矛盾的小組，請學生說明</p> <p>2. 挑出來的小組，派員說明</p> <p>(1) 研究問題</p> <p>(2) 取樣設計</p> <p>(3) 數據與圖表</p> <p>(4) 結論與可能誤差來源</p> <p>3. 學生於教師提供的紙卡上紀錄</p> <p>(1) 其他組別的結果是支持或反駁自己小組的結論？為什麼你這樣認為？</p> <p>(2) 其他組別的設計可能如何削弱該組結論的有效或可信程度？</p>			<p>表達與分享—表達與溝通—正確運用科學名詞呈現自己或理解他人的探究過程與成果。</p> <p>※學生使用平均值、標準差與 r^2 描述操縱變因與應變變因的關係</p> <p>※學生比較不同的探究結果</p> <p>表達與分享—合作與討論—評估同學的探究結果，提出合理的疑問</p> <p>※學生評估自己與他人的研究架構與過程</p>

<p>教師展示雲端教室個人作業內容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗目的(研究的問題): <ul style="list-style-type: none"> --正確的疑問句，包含明確的操縱變因及量化的應變變因 2. 假說(預測的結果，並提出理由、原理): <ul style="list-style-type: none"> --你認為操縱變因如何影響紅血球的大小 --為什麼你認為這個操縱變因會影響紅血球大小 3. 技術的原理: <ol style="list-style-type: none"> 3.1 血液抹片：簡介原理與可能造成誤差的因素 3.2 顯微測量：簡介原理與可能造成誤差的因素 4. 實驗規劃 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 操縱變因: 4.2 應變變因：如何取得「一個人」的血球大小平均值（計算公式） <ul style="list-style-type: none"> 如 血球大小平均值=(第 1~5 個取樣視野下的 10 個細胞長徑總和)/50 4.3 控制變因：如何減少控制變因帶來的誤差 <ol style="list-style-type: none"> 4.3.1 取樣方法如何減少個體間的差異造成的影響 4.3.2 測量方法如何減少個體內數據的差異造成的影響：平均±標準差 4.4 數據處理：如何評估其他變因（隨機因素）造成的影響：統計工具 5. 實驗結果 <ol style="list-style-type: none"> 5.1 整理後的數據表格 5.2 統計檢定結果 5.3 根據整理後的數據製作的圖 6. 推論 <ol style="list-style-type: none"> 6.1 以操縱變因與平均±標準差對探究的問題提出嚴謹、完整的回答 6.2 實驗設計與操作過程可能有的誤差，評估對上述答案的影響程度 6.3 與預期的異同、可能的解釋 		<p>報告雲端格式 評分規準</p>	
--	--	------------------------	--

參、實驗報告撰寫說明

實驗報告有常用的格式項目，但最終目的為清楚呈現研究者的研究架構與結果，以供科學社群共同討論結論是否合理及完備。因此每個項目下要探討的內容，均需說明如何在邏輯上或嚴謹程度上影響結論，可以參照下列建議。

	說明
預報內容	<p>一、實驗目的—說明想探討的問題為何？</p> <p>二、實驗假說—說明對問題的初步猜想</p> <ol style="list-style-type: none">1. 假說背後的原理：說明所提出猜想的背後原理2. 實驗技術的原理：說明進行本實驗所用到的理論或方法3. 實驗設計：<ol style="list-style-type: none">a. 這個實驗的實驗組與對照組的設計中，操縱與控制變因各是哪些？b. 應變變因是什麼？如何測量？測量所得的數據為何可用來<u>有效</u>評估操縱變因的影響？c. 在測量應變變因時，在測量技術上可能有哪些因素使得數據的<u>可信度</u>降低？可能可以如何提高可信度？d. 控制變因若沒有控制好，可能使「應變變因在反映操縱變因所帶來影響」的<u>可信度</u>降低的原因為何？e. 預計重複幾次實驗？使用哪些統計值來評估數據所呈現的趨勢？4. 實驗預測：根據假說背後原理及實驗技術，分別預測實驗組與對照組的數據趨勢 <p>三、實驗材料—詳列實驗進行中所使用的材料及數量</p> <p>四、實驗步驟—依照實驗進行的步驟<u>繪圖</u>表示並註記實驗進行時務必注意的重點</p>
結報	<p>六、實驗結果—說明實驗數據</p> <p>請用<u>文字</u>描述實驗組與對照組的數據，以及數字呈現的趨勢，</p> <p>選擇適合的圖表類型，將<u>整理後</u>的實際結果以符合科學慣例的形式呈現。</p> <p>七、實驗討論—以下為內容項目，請撰寫為通順的文章</p> <ol style="list-style-type: none">1. 針對實驗結果討論各項設計中的變因對結果之影響。2. 對於預期以外的實驗數據提出可能原因，及對假說的意義。<ol style="list-style-type: none">a. 你用甚麼方法減少誤差，讓數據更為可信？(材料、實驗方法、統計方法)

- b. 有其他資料可以支持你的數據或結果嗎?
- c. 有哪些可能的原因使得你的結論可能並不成立?
- d. 你學到甚麼科學家進行科學調查時要注意的事情?

八、參考或引用文獻－實驗進行與報告書寫所參考的資訊，於此詳列說明。

格式－ 作者 年代 書名及頁數 出版社

作者 年代 篇名 期刊名 (頁數)

參考或引用的文獻必須是教科書或是有同儕審查 peer-review 的科學期刊文獻

- 完成後請再次詳細檢查 (語句邏輯、錯字、格式) 後，再繳交！！

實驗報告評分規準

實驗報告的撰寫是科學探究重要的總結性評量，除了可利用整理實驗結果的機會彙整自己的探究所得，反思檢討探究歷程，並釐清下一階段的探究方向外，亦可利用實驗報告表達分享自己的探究所得。而為了引導學生彙整出有助於進一步探究和科學溝通的實驗報告，適當的說明，並以評量規準提供適當的輔助有其必要性。下表即為提供給學生的實驗報告要求說明，根據上述教案內容，逐一系列出實驗報告的面向，並依各面向的書寫重點逐一說明。

報告要求	<p>一、實驗目的—想透過進行本實驗探討的問題為何?</p> <p>二、實驗設計—說明自己的實驗假說、根據原理及實驗技術 這個實驗的實驗組與對照組的設計是甚麼? 在實驗前，就實驗可能知結果進行推理與預測。 依照實驗設計的原理，應該會出現哪些結果，以驗證或否決實驗假說?</p> <p>三、實驗材料—詳列實驗進行中所使用的材料及數量</p> <p>四、實驗步驟—依照實驗進行的步驟繪圖表示，並註記實驗進行時務必注意的重點</p>
	<p>五、實驗結果—將實際結果、數據或圖表詳列紀錄之。</p> <p>六、實驗討論—實驗結果如何回答你的問題 *針對實驗結果討論各項設計中的變因對結果之影響。 *對於預期以外的實驗結果提出可能原因或改善方法。 -你用甚麼方法讓數據更為可信?(材料、實驗方法、統計方法) -有其他資料可以支持你的數據或結果嗎? -你學到甚麼科學家進行科學調查時要注意的事情?</p> <p>七、參考或引用文獻—實驗進行與報告書寫所參考的資訊，於此詳列說明。 格式— 作者 年代 書名及頁數 出版社 作者 年代 篇名 期刊名 (頁數) 參考或引用的文獻必須是教科書或是有同儕審查 peer-review 的科學期刊文獻</p>

而當學生了解時要報告書寫要點後，接下來則需根據不同的評量目的，設定評分的規準。若為總結性評量，則會依學生的實驗報告的優劣給於適當的成績，所以會再依面向的不同予學習的重點，給予於適當的權重。例如實驗討論，會是整份實驗報告中最希望學生學會的重點，且須要學生思考和整理部分較多，所以此部分會戰比較大的權重，在下面的示例中占比為 30%；而實驗目的部分，則需要整理的部分較少，所以僅占比為 5%。

評分項目與表現量尺

	具有科學探究能力	具有科學探究的基礎	僅達基本要求	未達基本要求
實驗目的 5%	指出要探討的「問題」 15%	僅有呈現「觀察層次」 10%	僅寫出關鍵字 5%	未列出實驗目的 0%
實驗原理 15%	列出作用與現象，並說明為何可以用來探討「問題」 15%	僅列出「作用、現象」，不了解原理為何可以用來探討「問題」 10%	未列出完整、正確的「作用」、「現象」 1%	未列出「作用」、「現象」 0%
實驗步驟 25%	步驟以簡圖加註重點文字，有助實驗操作 10% <u>可能可以新增取樣與測量如何降低誤差</u>	實驗步驟有以簡圖表示 5%	步驟只依照課本文字抄寫 1%	未列出實驗步驟 0%
實驗結果 30%	以正確的統計、圖表呈現實驗數據作為結果 25%	有呈現實驗結果或數字，但沒有以正確的統計、圖表重新整理結果 15%	直接以所得的數據作為實驗結果，稍加整理 10%	直接以實驗中所得的數據作為實驗結果，只簡單的條列 1%
實驗討論 20%	就目的所列問題討論結果並將課本問題融入討論的脈絡，更對實驗設計與結果有更完整的討論 30%	就實驗目的所列問題討論實驗結果並將課本所列問題融入討論的脈絡 20%	有就目的所列問題討論結果 10%	僅以課本所列問題作為實驗討論 5%
引用文獻 5%	有搜尋課本以外資訊，充實討論內容，資訊來自經同儕審查的來源，可信度高 10%	有搜尋課本以外的資訊，充實討論，但資訊屬未經同儕審查的來源，可信度低 8%	僅參考課本 5%	沒有註明資料來源 0%

Jin, H., Wei, X., Duan, P., Guo, Y., & Wang, W. (2016). Promoting cognitive and social aspects of inquiry through classroom discourse. *International Journal of Science Education*, 38(2), 319-343. doi:10.1080/09500693.2016.1154998