

探究式雙語教學在光合作用科學史的課程設計——以光反應初期研究為例

李貞苡

新北市立新莊高級中學

Email: f0658129@gmail.com

摘要：本文以光合作用光反應前期研究的科學史理解為授課目標，以「沃土模式」為框架，將英語作為學習輔助工具，提供一套結合科學史探究與雙語學習的教學方案。應用 5E 學習環與 CER (主張、證據、推理) 論證模式，引導學生在探索科學史的過程中深層理解學科本質。學科內容從葉綠體構造與能量循環出發，引領學生分析英格曼 (Engelmann) 的作用光譜實驗、范尼爾 (Van Niel) 對氧氣來源的假說，以及後續放射性同位素的驗證過程，期待在語言的轉換下，能同時引起學生對科學家研究歷程的興趣，進而延伸至學科知識與科學研究的連結。

■ 前言

在 2018 年底，臺灣政府公布「2030 雙語國家政策發展藍圖」，教育部積極策劃雙語教學的政策架構和各項實施計畫。很多參與雙語教學的教師反應「缺少雙語教學的課綱和能力指標」，無法確定教學重點和教學策略。雙語教學必須在自然課、體育課、音樂課、視覺藝術課或綜合活動課中實施，這些課程都有既定的課綱和教學內容，不能因為英語的融入，就簡化或轉換成延伸的英語課程 (陳錦芬, 2023)。教育部 2018 年所發布之「十二年國民基本教育課程綱要-國民中小學暨普通型高級中等學校自然科學領域」(以下簡稱 108 課綱) 十二年國民基本教育自然科學領域課程綱要學習目標中提到，自然科學課程應引導學生經由探究、閱讀及實作等多元方式，習得科學探究能力、養成科學態度，以獲得對科學知識內容的理解與應用能力。108 課綱對於學生探究學習能力的重視，也與 PISA 的評量內容「科學素養」具有相同的核心理念。PISA 在 2025 年開始對母語非英語的國家加考英文，因為全世界正在面對許多必須要共同解決、共同面對的問題，因此能適當用外語 (如英語) 溝通、理解不同文化已經愈來愈重要。因此筆者希望藉由高中生物課程中光合作用的單元，以探究式教學法配合符合高中生程度的英語溝通能力，進行學科知識的探究學習，藉由課程引導讓學生可以有效地使用雙語進行植物光合作用科學史的探究學習。

■ 光合作用的科學史探究教學

一、光合作用研究的科學史

光合作用的科學史不僅是植物生理學的基礎研究，也展示技術推動理論發展的科學研究範例。早期如 1779 年英格豪斯 (Jan Ingenhousz) 證實光照與綠色部位的必要性及 1883 年英格曼利用水綿確定了光反應的作用光譜，奠定了光能在光合作用需求基礎。20 世紀，布萊克曼 (Frederick Frost Blackman) 於 1905 年首度將光合作用區分為「光反應」與「固碳反應」，開啟光合作用微觀機制的探究。1931 年范尼爾 (Cornelius van Niel) 由綠硫菌的光合作用過程中，推測植物產生的氧氣來自水的光解，而魯賓 (Samuel Ruben) 與卡門 (Martin Kamen) 於 1941 年運用同位素 ^{18}O 標記技術，證實了氧氣源自水的氧原子。在此基礎上，卡爾文 (Melvin Calvin) 團隊於 1950 年代結合 ^{14}C 同位素標定與色層分析，完整追蹤了固碳反應中的碳足跡，卡爾文循環驗證植物合成醣類的過程。這些研究歷程展現了科學家們如何透過實驗設計與結合測量工具，逐步發現光合作用的複雜過程，適合融入探究式教學的學習，加上本單元的英文專有名詞相對生物科其他單元較簡單易懂，因此筆者嘗試以選修生物 II 光合作用光反應初期研究的科學史進行雙語探究式教學。

二、光反應初期研究的探究歷程

光反應相關知識的建立，是經由不同時代科學家持續提出問題、修正假說與累積證據而逐步形成。從普利斯特里 (Joseph Priestley) 發現植物具有更新空氣的現象，到英格豪斯證實光照是限制條件，再到英格曼利用作用光譜探討不同波長光線對光合作用的影響，以及范尼爾 (Cornelius van Niel) 與魯賓、卡門對氧氣來源所提出的假說與驗證，展現科學知識建構歷程與暫時性。本課程設計是依循科學史發展脈絡進行論證的探究活動，引導學生分析實驗設計，透過 CER 論證模式進行科學解釋。利用探究導向的教學流程，自然銜接科學本質 (Nature of Science, NOS)、及科學史 (History and Philosophy of Science, HPS) 融入教學。

■ 課程設計

一、以沃土模式的設計雙語教學

英語並非臺灣的母語，語言的使用在科學教育上視為輔助工具，老師在課程的教授與學生學習中仍有上課時數與升學考試的雙重壓力，參考林子斌教授 2021 年對於臺灣本土模式建構的雙語教學建議提及，雙語教學並不同於英語教學，無須綁定雙語在課室使用之比例，雙語學科教師須先對學生語言起點行為有所理解，方能規劃出學生可接受之雙語授課內容 (林子斌, 2020)。因此本課程設計是以回歸學科本質、重學生理解的思想主軸下參考沃土模式的雙語教學模式，首先分析學生英語程度後以國中畢業生程度 2000 單字能力為起點，加課室英文使用的比例，學科專業英文中超出範圍的單字會提供單字庫 (word bank) 中英並陳與使用學

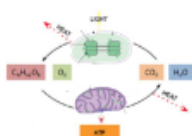
習單及數位簡報(圖 1)，搭配多模態的學習情境進行教學。

New Taipei Municipal Hsinchuang Senior High School
Class No. _____ Name _____

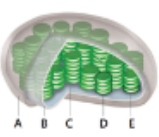
Chapter 3 Plant nutrition and transportation 植物的營養與運輸

3-1 Photosynthesis 光合作用

1. An important energy cycle between photosynthesis(光合作用)and cellular respiration(呼吸作用)



2. The structure of a chloroplast



3. Photosynthesis occurs in two stages

	光反應(Light Reactions)	暗反應(Carbon Fixation Reactions)
Reaction location		
Purpose		
Reaction equation	$12\text{H}_2\text{O} + 18\text{ADP} + 18\text{P}_i \rightarrow 12\text{NADPH} + 18\text{H}^+$ $6\text{O}_2 + 18\text{ATP} + 12\text{NADP}^+ + 12\text{H}^+$	$6\text{CO}_2 + 18\text{ATP} + 12\text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4(\text{PGA}) + 18\text{H}_2\text{O} + 18\text{ADP} + 12\text{NADP}^+$
Total equation	$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$	

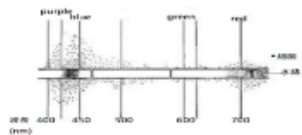
4. Effect of wavelength of light on photosynthesis 光的波長對光合作用的影響

研究目的

實驗設計

實驗原理

結果 1



數據處理

結果 (result)

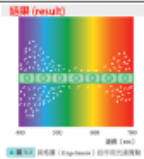


圖 1-1 彩虹光譜 (Spectral image) 的光譜圖

繪圖與建模 (Modeling)

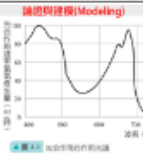
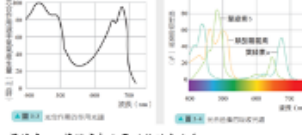


圖 1-2 光合作用的作用光譜

延伸討論

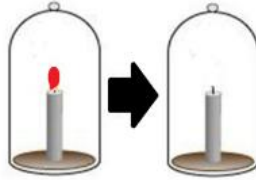


實驗者 2：葉綠素主要吸收的光色為：_____

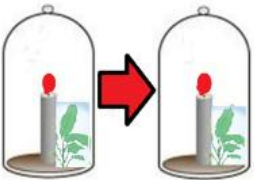
副反應葉綠素主要吸收的光色為：_____

結論：_____

Evidence:用一句話描述結果，必須包含變因之間的關係



A After a short time, the candle went out



B A plant was added to the container. The candle continued to burn after several days.

蠟燭在OOO下，(可/無法)持續燒，在OOO下，(可/無法)持續燒

You can write like this

A candle can/cannot continue burning under OOO light; it can/cannot continue burning under OOO light.

證據(Evidence)：_____

主張(Claim)：Plants can refresh the air

推論(Reasoning)：_____

圖 1：學習單與簡報引導

二、以探究式教學模式進行科學史的學習

以光合作用的光反應研究為例，以往的課本多以事實呈現來描述，學生的學習僅著重研究結果的背誦，而忽略科學家如何發現問題與解決疑問的過程，因此在光合作用的學習多流於死記所謂的重點，並且在考試後即遺忘。以科學結果而非討論與推理的方式呈現科學知識建構歷程，教師將無法引導學生透過對話、討論來深層理解相關科學知識(洪逸文、湯宜佩，

2016)。探究式教學是一種以學生的探究活動為中心，教師提供學生事例和問題，安排合適的學習情境，讓學生自己閱讀、觀察、實驗、思考、討論等來進行探究活動，並從中引導學生自覺地發現問題、認清問題的所在、提出可能的假設、擬定可行的解決方案，以驗證假設並獲致結論（王佳琪，2022）。因此本單元的教學設計應用 5E 學習環的探索與解釋，應用 CER 的論證模式討論與推理光反應前期研究的過程與意義。期待透過科學史的學習，能讓同學了解科學研究與理論形成的過程，學生在探究過程中必須運用科學知識去解釋所見的現象或驗證假設，能幫助學生建立完整的概念與脈絡，避免學到的知識只是考完即忘的片段資訊。

三、教案設計與教學流程

選修生物課程中光系統與光反應電子傳遞過程為學生之前未曾學習過的學科知識，因此筆者在選擇探究式課程的教授單元會先以科學史為學習目標。依教育部自然領域領綱的建議，光合作用的授課時數為 3-4 節，其中光合作用科學史與光反應約佔 2-3 節，固碳反應與光合作用總結約為 1 節課。

附錄教案以 1 節課時間設計光合作用科學史的探討，主要以論證模式分析每一個研究過程的研究設計、推論與結論，但有關光反應中的光系統與電子傳遞過程並未列入此篇教案中。因應授課班級可能尚未具 CER 論證的基礎概念，因此會針對各班學生得先備知識與英語使用能力將本教案授課時間延長至 1.5 節。教案詳細內容參見附錄一，評分規準參見附錄二。

有關本教案中雙語在探究式教學流程的使用，會搭配 5E 學習中參與、探索、解釋、精緻化與評量（Engage, Explore, Explain, Elaborate, and Evaluate）的教學模式（Bybee et al., 2006），將一節課分為三個階段，分別為英語與先備知識準備階段、知識內容連結的發展階段與學習心得與反饋總結階段。有關英語的準備階段會從課室英文中的問候語與打開課本、發學習單等基本指令開始進行暖身，同時在每一次下達指令後問同學是否了解任務，並抽一位同學用中文或英文再說一次，以確同學都了解老師的指令，也讓同學大腦開啟雙語學習的模式，此時的英語融入也開啟了 5E 學習模式中的參與（Engage）過程。進入第二個階段學科知識學習中，老師會搭配 PPT 或黑板，用簡單英文將前一堂課的學習重點條列式的複習一次後進入新的課程內容。學科英文的使用比例並非此階段強調的重點，老師會利用簡單的提問句或是現象描述會以英語敘述，並於學習完每一段知識概念後詢問同學是否了解。以圖 1 為例，老師直接使用 PPT 提供 CER 的定義，與科學性描述的句型，建立英語論證的鷹架，依照科學史脈絡，分別探討研究過程，引導學生提出科學家的假設、實驗設計中變因的分辨及科學家使用的科學原理，並與鄰座同學一起討論後完成學習單，並鼓勵同學參考老師提供的英文句型，英語回答或分享，此階段讓同學進行探索（Explore）與解釋（Explain）。在課程學習後，老師會挑選 1-3 題美國 SAT2 的相關試題練習，讓學生也能從英文提問中分析結果找到答案，使英

語使用的學習效果能更精緻化 (Elaborate)，完成試題的評量後同學可參考附錄二中的紙本評量規準進行自我評價，作為雙語學習的總結階段。在探究式教學的流程中，老師會善用 5E 學習的教學模式，經由簡潔的英語提問、中英文並行的定義問題或呈現矛盾的結果等方式，引出探討主題的方向，並以 CER 的論證架構讓同學嘗試以英語解釋，並鼓勵學生思考是否能將其所形成的解釋，應用於新的情境或問題中。老師也會在每個論證的活動中，進行形成性評量，以了解學生對科學本質的理解。

■ 結語

因文化習慣，非英語課程的教師與學生用英語交流，是一個很大心理障礙。常會聽到教師的反應認為，用中文上課學生都不一定理解，加入另一種語言更是造成學生的學習與認知負荷。但若從世界潮流趨勢而言，英語的溝通與表達是所有科學研究或科學工作者必須使用的，若能在基礎的科學學習中適當加入雙語的運用，可以讓學生習慣語言的轉換，對於未來面對國際化的職場工作可以從容應對。教師在教學中，英語的使用量與語言轉換的時機需要依據當下學生英語程度進行調整，教師與學生都希望能在一個「聽得懂」的溝通下教與學，因此雙語融入探究式的學習重點並不在英文使用量，而是能用最清楚順暢的敘述下討論、溝通與表達。沒有語言溝通壓力的雙語使用，才能讓師生願意進行雙語教學，這也是筆者傾向使用沃土模式的雙語教學與學習之主要原因。

■ 參考文獻

- 王佳琪 (2022)。探究式教學融入教育心理學課程之行動研究。師資培育與教師專業發展期刊，15(2)，1-34。
- 林子斌 (2020)。臺灣雙語教育的未來：本土模式之建構。臺灣教育評論月刊，9(10)，8-13。
- 林子斌 (2021)。建構臺灣 [沃土] 雙語模式：中等教育階段的現狀與未來發展。中等教育，72(1)，6-17。
- 洪逸文、湯宜佩 (2016)。高中特色課程的開發與實施：以論證課程為例。課程研究，1(1)，23-57。
- 教育部 (2018)。十二年國民基本教育課程綱要—國民中小學暨普通型高級中等學校：自然科學領域。 [https:// www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/820/十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校-自然科學領域.pdf](https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/820/十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校-自然科學領域.pdf)
- 陳錦芬 (2023)。臺灣雙語教學之教學方針與策略。教育實踐與研究，36(1)，163-188。

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. Colorado Springs, Co: BSCS, 5(88-98).

■ 附錄一

光合作用——光反應初期研究科學史教案

學校名稱 School	新北市立新莊高中	課程名稱 Course	高二生物
單元名稱 Unit	光合作用 光反應初期研究	學科領域 Domain/ Subject	Biology
教材來源 Teaching Material	選修生物 II 3-1	教案設計者 Designer	李貞苡
實施年級 Grade	高二	本單元共 <u>1</u> 節 The Total Number of Sessions in this Unit	
教學設計理念 Rationale for Instructional Design	地球上絕大多數生物活動使用能量，其來源最終都能回溯至太陽。生態圈中的生產者能夠進行光合作用，將光能擷取轉換生物體活動所需能量，使能量進入生命世界，生物體利用呼吸作用再將無機物釋放，以利光合作用材料循環使用。此概念符合聯合國永續發展目標(SDGs)中第 12 條闡述之「確保永續的消費和生產模式」。 本單元利用光合作用科學史，讓學生理解光能在轉換成化學能的方法，延伸探究科學家之後如何將能量儲存在有機物內提供生命世界使用，學生可藉由了解光合作用進而延伸新能源發展的創新概念。		
學科核心素養 對應內容 Contents Corresponding to the Domain/Subject Core Competences	總綱 General Guidelines	A2 系統思考與解決問題	
	領綱 Domain/Subject Guidelines	自 S-U-A2 能由自然科學的探索，培養以科學方法進行系統分析、推理與反思，使具備理解問題及邏輯推理能力，以有效處理及解決生活、生命問題。	
	校本素養指標 School-based Competences	Not applicable	
學科學習重點 Learning Focus	學習表現 Learning Performance	an-Vc-1 了解科學探究過程採用多種方法、工具和技術，經由不同面向的證據支持特定的解釋，以增強科學論點的有效性。	

		an-Vc-2 了解科學的認知方式講求經驗證據性、合乎邏輯性、存疑和反覆檢視。
	學習內容 Learning Contents	BDb-Va-10 光合作用包括光反應與固碳反應
學生準備度 Students' Readiness	學科準備度 Readiness of Domain/Subject ● Ss know the concept of redox. ● Ss have learned green plants can convert light energy into sugars using water and carbon dioxide. ● Ss have already learned the CER argumentation model. 英語準備度 Readiness of English ● Ss understand simple present tense and simple past tense . ● Ss understand simple phrases for greetings.	
單元學習目標 Learning Objectives	● 學生藉由圖片展示能正確說出葉綠體的各部位構造與光合作用的關係。 ● 學生能利用 CER 論證的模式探究英格豪斯的研究歷程。 ● 學生能藉由科學家的研究了解光的波長對光合作用的影響，以及氧氣是如何產生的。 ● 學生能說出光反應與固碳反應的作用位置、反應過程、反應物與產物之間的關係。	
中 / 英文 使用時機 Timing for Using Chinese/ English	教師 Teacher	學生 Students
	● Greeting students ● Handing out and explaining the worksheet ● Showing ppt to ask questions for comprehension ● Providing feedback ● Managing the classroom ● Class announcement	● Greeting T ● Giving the response ● Reading materials on ppt ● Answering T's questions ● Giving the response to pay attention ● Repeating announcement
教學方法 Teaching Methods	● 講述式 ● 討論法	
教學策略 Teaching Strategies	● 設計提問 ● 運用多媒體影音 ● 有效組織教材內容	
教學資源及輔助器材 Teaching Resources and Aids	課本(泰宇版)、自編學習單(附件一)、評量卷(自編小考卷)、電子白板	

評量方法 Assessment Methods	Paper and pencil assessment 紙筆評量 Observational assessment 觀察評量	
評量規準 Rubrics	參見附錄二	
議題融入 Issues Integrated	聯合國永續發展目標(SDGs)中第 12 條「確保永續的消費和生產模式」。	
教學流程 Teaching Procedures		
第一節	準備階段 Preparation stage	時間 Time
	Warm up	10mins
	■ Greeting and handout the worksheet.	
	■ Describe the task of this class.	
	■ Review the shape of chloroplast and photosynthesis reaction formula: Teacher shows the picture of chloroplast, the students judge structures and record notes.	
■ Demonstrating the basic format of CER arguments helps students recall the argumentation model.		
發展階段 Development stage		
1. 普里斯特里認為植物有更新空氣的功能，如何用CER的論證模式來驗證其理論？	5mins	
■ 講述式： 教師先提供光合作用的科學史簡表，讓學生有時間續的概念，接著以PPT引導學生，藉由普里斯特里的研究發現進行CER論證的熱身。		
■ 討論法： 老師列出的三個敘述，對應於CER的哪個部分，老師先請學生試著配對後，徵詢自願者或抽籤讓同學回答。並請學生說明他的配對觀點。		
2. 英格豪斯證實植物產生氧氣需要光照與綠色部位，如何用CER的論證模式來探究英格豪斯的研究理論？	10mins	
■ 講述式： 教師以圖式簡單的說明英格豪斯的實驗流程與觀察結果。		
■ 討論法： ●引導學生根據這英格曼的實驗結果回答學習單的問題，並與鄰近同學互相參考嘗試完成結果與討論的撰寫。 ●教師與學生一起完成PPT上提問與撰寫。		

	3. 光反應需要哪一種光源？光合作用的氧氣從何而來？	5mins
	■ 講述式： 教師用ppt展示范尼爾對紫硫菌的研究並簡單描述魯賓和卡門利用同位素追蹤驗證范尼爾研究的內容。 ■ 討論法： ●比較范尼爾實驗紫硫菌和綠色植物進行光合作用的異同點。 ●請同學思考范尼爾用生物類比推論結果和魯賓二人用科技儀器檢測結果，在科學研究的過程中有甚麼意義，讓學生能夠體會科學研究的方法有多種模式，不會只有一種，可根據當下的資源或條件進行設計，仍可獲得答案。 ●徵求志願者分享結果或指定同學分享結果。 ●提醒同學填寫學習單。	5mins
	總結階段 Summary stage 1. Quiz and review answers 2. Classroom announcement：預告下次課程要瞭解光反應中的光合色素有哪些？形成的光系統有幾種？請同學可以先回憶色層分析的實驗原理，並預習課本探討活動3的光合色素層析。 第一節結束 End of the first session	5mins
參考資料 References		泰宇版選修生物 II、翰林版選修生物 II。 李紋霞 學習成果導向評量： Rubrics 的運用與設計 https://pdc.adm.ncu.edu.tw/tldc/activities/teacher

■ 附錄二

紙筆評量評分規準

評量項目	優秀(10 分)	良好(7 分)	待改進(5 分)	得分
學習單完成度	老師要求的內容填寫完整，並能在學習單上額外的重點整理與檢討	老師要求的內容確實填寫完整	將老師要求的內容填上，字體潦草且不完整	
小考評量卷	成績 85 分以上	成績 71~85 分	成績未達 70 分	
小考訂正	錯誤題目皆列出正確答案並寫出老師檢討的解析，其他重要概念亦整	錯誤題目皆列出正確答案並寫出老師檢討時的解析	錯誤題目未完全訂正，或僅有正確答案，未列出解析	

	理列在試卷上			
學習單與考卷 繳交	準時或提前繳交	遲交 24 小時之內	遲交 24-48 小時內	

■ 觀察評量評分規準

評量項目	優秀(10 分)	良好(7 分)	可接受(5 分)	待改進(1 分)	得分
老師進入教室 或鐘響畢	鐘響畢已就座， 並拿出正確的課 本	鐘響畢已就座， 但尚未拿出課本	鐘響畢仍未就座	無正當理由遲到	
手機使用	手機使用遵照老 師指示		上課非法使用手 機遭勸誡 1 次	上課非法使用手 機遭勸誡 1 次以 上	
筆記撰寫	主動撰寫筆記， 並適當使用不同 顏色標記或畫重 點	主動撰寫黑板筆 記	老師提醒後開始 撰寫筆記	老師提醒後仍未 撰寫筆記	
聽課態度	老師講授時會看 著老師並給予回 饋反應	老師講授時會看 著老師，但無回 饋反應	與同學聊天或做 非上課情事被指 正 1 次	與同學聊天或做 非上課情事被指 正超過 1 次	
課堂提問	提出與課程相關 之問題	無，但是會認真 聽同學的提問	無且未認真聽同 學提問	無或故意擾亂秩 序的提問	
老師提問	會主動回答，且 回答正確	老師指定後回 答，且答案正確	老師指定後回 答，但答案不完 整	未專心聽課	