

中學生閱讀科學圖文與不同語意透明度之學術詞彙的認知處理策略——眼動追蹤研究*

郭品纖

簡郁苓

國立臺灣師範大學
教育心理與輔導學系

科學文章是典型的多元表徵文本，有文字與圖表，且有概念密度高的學術詞彙，學生在閱讀文章時常有理解困難。本研究以眼動追蹤探討不同閱讀能力的中學生閱讀科學圖文的認知歷程與處理策略，以及遇到語意透明度高（意譯）與低（音譯）之學術詞彙時讀者如何處理。有效樣本為 65 名七年級學生，每位都要讀四篇科學文章，其中兩篇含有音譯、兩篇含有意譯的科學學術詞彙，之後完成自由回憶和閱讀理解題，最後播放研究參與者閱讀文章的眼動影片給其觀看，進行提示回溯性放聲思考。研究結果發現，高閱讀能力的記憶和理解表現都比低閱讀能力好，而讀者閱讀含有意譯與音譯的文本整體的閱讀理解測驗差異並不大。眼動資料則顯示在學術詞彙的處理層次上，各能力的中學生於閱讀音譯的科學學術詞彙時，第一次連續凝視時間都較意譯學術詞彙長，反映中學生難以從詞素意義理解音譯之科學學術詞彙；眼球凝視位置離開學術詞彙後，轉移到科學詞彙之後的句子尋找訊息，藉由上下文推測詞義。而在文章處理的層次上，不論閱讀能力優劣，中學生皆以文字為訊息理解之主要來源，讀文字的總凝視時間比例較讀科學圖表的比例高，但學生清楚表格類插圖的資訊量高且為統整後的重要資訊，因此相較於其他類型的圖片，學生會花較多時間閱讀統整比較表。眼動提示回溯性放聲思考的資料則顯示高能力學生多運用「推論整合」（如運用插圖訊息、整合圖文訊息）的閱讀策略；中能力學生常使用「提取訊息」（如找重點、重讀）的策略；低能力學生則常用負向閱讀處理方式（如重點認知錯誤、不清楚閱讀目的），而難以在閱讀科普文章時進行有效的學習理解。

關鍵詞：語意透明度、學術詞彙、科學圖文、眼動追蹤、閱讀策略

-
- * 1. 通訊作者：簡郁苓，jianyucin@ntnu.edu.tw。
2. 本研究為郭品纖的碩士論文改寫，指導教授為簡郁苓。
3. 本研究的實驗在簡郁苓教授的科技部「年輕學者養成計畫——哥倫布計畫」（MOST110-2636-H-003-003）補助下完成，謹此致謝。同時感謝論文口試委員曾玉村教授、邱國力教授以及本文的審查委員給予寶貴建議，使其更加完善。

隨著《十二年國民基本教育課程綱要》(2021)的推動,「素養」一詞躍升於搜尋排行榜,根據聯合國教科文組織(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 簡稱 UNESCO)的定義,「literacy」意指「識別、理解、解釋、創造、運算等能力,涉及個人能夠實現目標、發展知識和潛能,並充分參與社區及廣大社會的連續學習」。不同學科對「素養」的定義與應用重點皆有其差異。以科學來說,逐漸重視學生在「探究能力」以及「科學態度與本質」兩方面,科學探究實作需要發現問題、認識問題、問題解決、提出結論及表達溝通等能力(林小慧、吳心楷, 2019);科學閱讀需要三種素養能力:視覺素養(visual literacy)、內容領域素養(content-area literacy)、學科素養(disciplinary literacy)才能有好的閱讀理解和學習(Guo et al., 2020)。

科學素養能力與媒體、文字或語言之間具關係密切(鄭可萱、李松濤, 2018)。而為了給予學生適當的科學閱讀素養教學,了解目前中學生於科學閱讀中所遭遇的困難是關鍵之一。研究顯示,科學文本的特定敘述方式(Halliday & Matthiessen, 2014)、圖片中的訊號表徵含意(Stieff et al., 2011)、艱澀難懂的學術詞彙(Wellington & Osborne, 2001),都可能導致學生閱讀科學文本的理解困難。尤其學術詞彙又有不同翻譯的方式(如音譯和意譯),理解學術詞彙也可能受到其語意透明度(semantic transparency)的影響。此外,學生也可能因閱讀能力不佳、過於專注於文本忽略科學圖片、不擅圖文對照和整合策略等因素而導致科學文本閱讀的理解困難(Hannus & Hyönä, 1999; Jian, 2016; McTigue & Flowers, 2011; Wu et al., 2021)。由此可知,中學生要理解科學文本相當有挑戰性。從教育現況來看,在中學階段各科的閱讀量飛速般地成長,並且開始重視學科閱讀(content reading),因此本研究想了解中學生在閱讀科學圖文時的認知歷程以及使用的閱讀策略,日後就可能提出以證據為本位的建議給現場教師,讓老師知道學生缺乏的閱讀策略進行教學。除此之外,於教學現場上還能發現,不同能力的學生除了學習成效有所不同,也會使用不同的學習策略,如此推論至科學圖文閱讀,也將會有不同的閱讀歷程表現。為達此目的,本研究將探討中學生閱讀科學文章時,如何處理科學學術詞彙,以及如何閱讀科學圖文文章。

眼動追蹤技術(eye-tracking technology)是一個很適合探討讀者如何進行閱讀的方法(Rayner, 1998)。該技術發展愈來愈純熟,並持續應用於更多不同學習領域的探討,特別是歷程取向(processes-oriented)的研究。王孜甯與簡郁芩(2022)回顧近30年(1990年—2020年)探討科學圖文閱讀歷程的研究顯示,該研究領域多以大學生為研究對象,少數是小學生,但鮮少探討中學生閱讀科學文章的認知歷程。這些科學閱讀的眼動研究主要探討讀者將認知資源分配在科學文章中文字、圖的比例各多少,以及圖文參照與整合的歷程等,這對圖文閱讀歷程的研究領域奠定了很好的基礎。然而,如上所述,科學文章裡有許多學術詞彙也是造成學生閱讀理解困難的重要原因之一,但目前國內外探討學術詞彙的眼動研究相當少,且都是探討成人讀者在純文字(句子或純文字篇章)閱讀的環境下辨識學術詞彙的認知歷程(Jian et al., 2013; Jian & Ko, 2014; Or-Kan, 2016)。由於科學文章是典型的多元表徵文本,且中學生正是學科閱讀的重要學習者,不同閱讀能力讀者的閱讀歷程和策略也可能不同(Hannus & Hyönä, 1999; Jian & Ko, 2017),了解中學生如何閱讀科學文章和文章裡的學術詞彙是相當重要的議題。因此,本研究目的在以眼動儀探討中學生閱讀科學圖文與不同語意透明度之學術詞彙的認知處理策略,且是否會因不同閱讀能力而有不同表現。

(一) 科學文本閱讀理解的困難

關於學生在科學文本閱讀理解困難的原因,本文綜合文獻上的研究,歸納出「文本特徵」與「讀者特徵」兩個向度來討論。從文本特徵來看,科學文本相較於其他學科的特殊性敘述方式,會形成許多不同於日常生活語言的特徵,使得閱讀科學文本相對困難,這些特徵包含:1. 科學文本蘊含複雜的說明與組成的分類性,且會透過語法隱喻去濃縮意義科學文本的語法,而使因果關係具有模糊性(陳世文、楊文金, 2008; 廖斌吟、楊文金, 2017; Halliday & Matthiessen, 2014); 2. 在科學的語言中含有諸多艱澀難懂的專有詞彙,這些學術詞彙攜帶特定的科學概念,很難從字的表面理解整個學術詞彙的概念(Wellington & Osborne, 2001); 3. 科學文本通常具有多元表徵,如文字和各式的圖片與表格,學生不一定讀得懂這些多元表徵所要傳達的訊息(Jian, 2020; Jian & Ko, 2017; McTigue & Flowers, 2011)。

從讀者特徵來看,相較於成年讀者,年輕讀者受限於認知發展的不成熟以及經驗上的不足等,

尤其在學習門檻較高的科學領域中，在閱讀科學圖文時可能會遇到許多困難，包括：1. 注意力問題：在進行圖文學習時，學生的注意力常會被吸引到視覺形象突出或鮮明但卻與文章主題相關性低的訊息，尤其是領域知識少的生手讀者（Canham & Hegarty, 2010）。2. 過於專注於文本：學生經閱讀多媒體材料時，時常過於專注於文本卻忽略圖像，使得圖像失去乘載與傳遞科學訊息的功能（Hannus & Hyönä, 1999; Hegarty & Just, 1993）。3. 認知超載：閱讀圖文文本時，讀者必須運用多種素養能力來選擇、歸納文本中提供的訊息，並與個人先備知識連結，進行建構與整合成有效之心理表徵（Snow, 2002）。這些過程可能會導致閱讀過程中的認知超載，特別是對於年幼和閱讀技巧不佳的讀者（McTigue & Flowers, 2011）。4. 不擅圖文轉換與整合：根據 Paivio（1986）的雙碼理論（dual coding theory）與 Mayer（2005）的多媒體認知學習理論（cognitive theory of multimedia learning），文字與圖像在認知系統裡是兩個不同的通道在處理。讀者能將文字與圖片的訊息組織與連結，通常會比只有只透過單一表徵的訊息處理來得有較好的閱讀理解。

此外，一些研究也發現許多年輕讀者不擅於使用閱讀策略進行閱讀，但閱讀能力是一個重要影響因子，高、低能力常有不同的表現。例如，吳訓生（2002）比較高、低閱讀理解能力的五年級生使用閱讀策略增進理解與克服困難情形的差異。結果發現，高閱讀能力學生經常會使用釋義、聯想延伸、形成問題等策略，傾向從整體的角度理解文章，遇到困難也較為積極處理，並會隨時監控自己的閱讀狀態調整策略；低閱讀能力學生會使用釋義、聯想延伸與複述的策略，傾向以局部的角度整理文章重點，遇到問題較為消極，且較難察覺自身的理解情況。張苑真與辜玉旻（2011）則以六年級生為研究對象探討類似的問題，並發現高閱讀能力學生解釋內容時會緊扣文章主題，並會對不熟悉的概念閱讀相關的插圖；低閱讀能力學生則常僅延伸理解某字詞的意涵，使得整篇文章理解有所偏移，並難以進行圖文對應。也有研究也顯示識圖能力與圖文整合能力即便到了 12 到 13 歲的青少年讀者都還不成熟（Jian et al., 2019; McTigue & Flowers, 2011）。

（二）科學文章中的學術詞彙與圖表類型

由於本研究主要探討中學生如何處理科學文章中的學術詞彙和多元表徵，故特別將這兩者做進一步說明如下。

1. 學術詞彙（academic word）與語意透明度（semantic transparency）

在科學的語言中含有諸多專有詞彙指涉特定的科學概念（Wellington & Osborne, 2001），學生在日常生活中對於某些科學詞彙可能有一些認識，這對於學習科學學術詞彙可能幫助，但也可能造成學習的干擾。陳世文與楊文金（2008）指出學生在解釋詞彙時，會並存科學意義與生活意義兩種知識觀點的思考，導致學生在解讀科學詞彙時，不僅會受到科學教科書中論述的影響，也會連結到自身的日常生活用語。該研究舉例「學生在日常生活中會將空氣與氧氣在呼吸的用語上混為一談，因此少數學生不自覺中便將空氣與氧氣聯想在一起，導致他們認為氧氣是一種空氣」。這說明生活經驗也可能對於科學詞彙的學習造成干擾與理解錯誤或不完整。

此外，掌握詞彙意義也可能跟字詞的語意透明度（semantic transparency）有關（Libben et al., 2003）。詞的語意透明度指「一個詞彙的整體意義與其構詞語素之語意的關聯程度」（Libben et al., 2003），也就是以語素為單位來推斷詞意。Packard（2000）指出句法詞的概念，其中詞彙是語言組成具意義的最小單位，也是段落、篇章的構成單位，是為理解之基礎。因此詞彙語意透明度不同，可能直接影響讀者閱讀時對整體文本處理的推論與理解。如上述所言，詞彙的語意透明度反映語言單位組成成分與整體意義的關係，因此詞可以區分為三種透明度，並分別對應三種翻譯技巧：（1）語意透明詞的詞義與其構成成分的意義有著密切的關聯，很容易可以從它們的構成成分推知其詞義，對應意譯，如 *electromagnetic induction* 電磁感應（磁場來源靠近線圈會產生感應電流）；（2）語意不透明詞的詞義與其構成成分的意義沒有直接的關聯，很難從它們的構成成分推知其詞義，對應音譯，根據英語單詞的發音譯成讀音與原詞大致相同的中文字，主要有兩類，其一，是計量單位的詞，如 *hertz* 赫茲（頻率單位）；其二，是某些新發明或發現的事物名稱，如 *penicillin* 盤尼西林（為青黴菌中提煉出的抗生素）；（3）語意半透明詞的部分語素與詞義密切相關，另一部分沒有關聯，

對應音譯兼意譯，把原詞的一部分音譯，而另一部分意譯。如都卜勒效應（Doppler effect；波源與觀察者間有相對速度時所造成的頻率變化）。

目前，僅有少數研究探討中文語意透明度對於閱讀的影響。洪國鈞等人（2010）以五年級孩童與成人為研究參與者，探討中文語意部件及語意關聯強度對於語意發展的影響。結果發現，在判斷不同語意部件（語意透明度低）時，成人的反應時間相較孩童快 223 毫秒，在判斷相同語意部件（語意透明度高）時則僅快了 83 毫秒。由此可知，孩童傾向於使用語意部件的策略搜尋，成人則因為有更豐富的字彙使用經驗，整體字彙的自動化處理較有效率。Lee 等人（2014）則以縱貫法檢驗青少年讀者在第一次施測（9—15 歲）及兩年後的第二次施測（11—17 歲）時，語意透明度和閱讀關係的發展變化。研究參與者被要求進行跨感覺（視覺與聽覺）語意判斷任務，第一個字以視覺呈現，第二個字以聽覺呈現，中間間隔 200 毫秒，參與者要選擇與第一個字語意相關的第二个字，以此記錄其準確性和反應時間。研究結果發現第一次測量時，研究對象的年紀較小，此時他們判斷低語意透明度字準確性較低，且反應時間較長，顯示年紀較小的學生傾向將中文字拆解進行解碼，並會受其部件的語意透明度影響；隨著年齡增加，語意判斷會由部件處理轉變為整字處理，或是兩者之間的雙向連結，以便更精準地處理語意表徵的對應，因此第二次施測時的反應時間略為縮短、針對低語意透明度的準確性提升，且對高、低語意透明度的準確性判斷之差距顯著變小。

基於上述研究發現，字彙的語意透明度對於閱讀能力尚在發展中的年輕讀者而言，在閱讀上仍有一定的影響力。因此，本研究採取意譯與音譯兩種較為極端的語意透明度作為實驗材料的操弄，來探討不同能力的青少年讀者面對意譯（透明）與音譯（不透明詞）的處理，是否會與成年且熟練的讀者有所差異。

2. 科學圖的功能類型

在圖文閱讀中，不同功能、形式的圖片在協助文本的閱讀上也有不同的功效。Levin（1982）根據圖片在文本處理中發揮的認知功能，分成五種圖片類型，分別是：（1）裝飾性圖片，功能僅能裝飾頁面，不太可能增強理解、記憶或應用文本內容；（2）表徵性圖片，反映了部分或全部文本內容，使文本具體化；（3）組織性圖片，為文本內容提供清楚的步驟或結構框架，將文本內容有效地組織，使讀者能夠更連貫地了解文本內容；（4）解釋性圖片，有助於澄清抽象、困難或讀者不熟悉的文本，透過圖片中較為具體、類比、隱喻等圖解方式，讓文本更容易被理解；以及（5）轉化性圖片，透過有意義的交互式圖片，改善讀者對文本關鍵訊息的記憶。由上述定義可知，從裝飾性到轉化性的五種類型圖片似乎有從低到高的處理難度之不同層次。

過去針對國小學童的眼動圖文研究使用的圖片材料多以上述第二類表徵性圖片和第三類組織性圖片為主（Hannus & Hyönä, 1999; Jian, 2021; Jian et al., 2019; Mason et al., 2013b），例如，人體呼吸系統的部件名稱和空間位置屬表徵性圖片；生物的變態過程屬組織性圖片。由於本研究以中學生為研究對象，因而選擇資訊量較高也較為複雜的第三類組織性圖片與第四類解釋性的圖片作為學習材料的插圖。此外，中學生的科學教科書或適合青少年讀者閱讀程度的科普文章裡也常有比較的表格，故本研究的實驗材料也放入表格類圖片。

（三）中文學術詞彙的眼動研究

文獻上針對中文學術詞彙的眼動研究並不多，而做法主要參考拼音文字的眼動研究——探討讀者如何從詞素（morphemes）或上下文的語境脈絡學習一個新詞。如 Andrews 等人（2004）研究不同詞頻之字詞辨識與學習的眼動歷程；Brunsighan 與 Folk（2012）探討熟練的讀者在閱讀過程中，如何使用上下文和詞素訊息學習不同語意透明度之詞彙。本研究著重於含有中文學術詞彙的眼動研究，因此將較為詳細地回顧以下三篇直接相關的研究之目的、方法以及發現。

Jian 等人（2013）的研究探討在文本閱讀的環境下，辨識中文學術詞彙的語境效果（context effect）。該研究要求每位大學生分別閱讀三篇含有物理詞彙的中文文本，以及三篇替換物理詞彙為常用單詞的中文文本。結果顯示，在相同的上下文條件下，無論是物理詞還是替換詞，讀者對目標詞的第一個凝視點的凝視時間（first fixation duration, FFD）都沒有顯著差異，代表讀者能理解學術

詞彙裡的個別字；但是，物理術語的第一次連續凝視時間（gaze duration, GD）比替換單詞更長，這意味著讀者在初始閱讀階段需要更多時間來解碼整個物理詞彙的意義。讀者也會花更多的時間重讀（rereading time）這些物理詞和週邊的句子，且眼球在離開學術詞彙目標詞後，相當高的比例會轉移到目標詞的當句或下一句來尋找訊息幫助理解物理詞彙之意義。如此可以得知，在閱讀初期，讀者能辨識物理術語中每個中文字的意譯，但不清楚整個物理詞彙的涵義，而後藉由重讀句子，並從物理詞彙周圍的語句尋求幫助，以理解不熟悉的物理術語。

Jian 與 Ko（2014）則進一步研究背景知識在篇章閱讀時對中文單詞處理的影響。該研究請高知識（物理學專業）和低知識（非物理學專業）的研究生閱讀數篇物理短文，並預試確認文章裡有高物理背景讀者也不熟悉的物理詞。研究結果發現高、低物理知識讀者處理詞彙的差異顯現在閱讀的晚期階段，與低知識讀者相比，高知識讀者重讀不熟悉的物理詞和普通單詞的重讀時間較短、回視率（regression rate）更低，代表高知識讀者能用上下文訊息整合先備知識，去理解原本不熟悉的物理詞，因而只需要較少的回視和重讀時間；然而，在初始處理階段兩組讀者差異不大，眼動指標反映出兩組讀者讀不熟悉的物理詞時，第一個凝視點都落在整個物理詞的第一個字或前端的位置，並在該物理詞上有好幾個凝視點，代表讀者在嘗試解碼物理詞彙中個別詞素的意義。整體來說，背景知識的差異會導致在不同的閱讀階段出現不同的閱讀歷程。

Or-Kan（2016）的研究與 Jian 等人（2013）的類似，運用眼動追蹤的方式，比較馬來西亞大學生在閱讀含有科學學術詞彙的文本，以及替換科學學術詞彙為常用單詞的文本時，語境效果的差異。結果發現，雖然兩種詞彙的第一個凝視點的凝視時間（FFD）並無顯著差異，但成年讀者會使用較長的第一次連續凝視時間（GD）與較短的平均跳移距離（mean saccade length, MSL）閱讀科學學術詞彙，並且科學學術詞彙的平均重讀次數（2.45 次）亦顯著高於替換單詞（1.37 次）。研究表明，成年讀者會依據不同詞彙調整閱讀歷程，並運用重讀等策略，以理解不熟悉的單詞。

經由上述的文獻探討，得以梳理出成年讀者在學習學術詞彙時，會運用上下文檢索等技巧以協助自身理解該單詞，其中不同背景知識的讀者儘管會使用類似的策略進行閱讀，卻仍有閱讀歷程上的差異，特別是在晚期重讀的歷程。就我們所知，目前文獻上針對學術詞彙的研究似乎未有以中學生為對象的研究，因此本研究希望藉由將不同語意透明度的科學詞彙作為學習材料，並進一步將學生分為高、中、低三種閱讀能力組，以了解中學生閱讀學術詞彙的歷程與成人讀者之異同。

（四）圖文閱讀的理論基礎

在圖文閱讀領域中，有兩個理論為眾多學者研究的理論基礎，分別是 Mayer（2005）的多媒體學習認知理論（cognitive theory of multimedia learning, CTML）以及 Schnotz 與 Bannert（2003）的圖文理解整合模型（integrative model of text and picture comprehension, ITPC）。Mayer 的多媒體學習理論是由 Paivio（1986）所提出之雙碼理論（dual coding theory, DCT）奠基而成，假定視覺圖像與語文文字有不同的處理通道；而 Schnotz 與 Bannert 則是進一步修正圖像與文本的處理過程。

1. 多媒體學習認知理論（CTML）

CTML 的原則指出，人們從圖文雙表徵的文章中學習比起只有文字或圖片的單一表徵，學到的知識更多且更好理解。該理論認為讀者閱讀多重表徵的文章要有好的理解，有三個重要的過程：（1）選擇（select）：從文本和圖像中分別選擇相關的單詞或元素，進入工作記憶區；（2）組織（organize）：在工作記憶區進一步處理以理解並保留訊息，將文本和圖像訊息的組織分開進行，並構建語言模型和圖像模型；（3）整合（integrate）：讀者會從長期記憶中檢索與文本閱讀有關的先備知識，並將閱讀文本所形成的文字表徵和圖像表徵進行整合，以建構文章的心智模式達成閱讀理解之目標。

2. 圖文理解整合模型（ITPC）

Schnotz 與 Bannert（2003）所提出的 ITPC 理論認為建構語言模型及圖像模型的過程，可再分別細分為三個階段，其中兩個路線有互相影響的交集存在：於語言模型中，讀者在閱讀時會先建立文本的淺層表徵，而後再進入巨觀的命題表徵，並透過圖像的心理模型作為檢視；於圖像模型中，

讀者首先通過感知處理來創建圖像的視覺表徵，然後通過語義處理來構建圖像中顯示的主題心理模型和命題表徵。該理論認為文字與圖像用的是不同的符號系統，因此處理資訊的過程也有所不同。以文字為主的語言模式，包含「敘述性」(descriptive) 資訊，例如口語、文字、數學公式等；以圖像為主的圖像模式，包含「描繪性」(depictive) 資訊，例如圖片、照片、圖表等。在資訊處理的過程中，兩個模組的處理並非分開運作，而是持續的互動，並會互相影響。

綜上，CTML 和 ITPC 理論都認為讀者要理解圖文文章，能成功地從文字和圖片的表徵解碼訊息，並將雙碼表徵所表示的訊息意義連結、組織在一起，並和先備知識或既有概念整合在一起，是達成圖文閱讀理解的重要歷程。

(五) 中小學生閱讀科學圖文的眼動研究

王孜甯與簡郁苓(2022)回顧1990年至2020年的科學圖文眼動研究共有51篇論文發表在SSCI和TSSCI的期刊，大致可分為認知歷程(如，不同年齡、不同閱讀能力讀者的閱讀歷程等)與介入設計(如，不同教材設計、閱讀策略教學前後的閱讀歷程差異等)兩大主題；其中，多數都以大學生為研究對象，小學生次之，中學生的科學圖文眼動研究則占不到兩成。

Hannus 與 Hyönä (1999) 是第一個以眼動追蹤技術探討科學圖文閱讀的研究，有兩個實驗：實驗一是探討高、低能力的國小四年級學生閱讀有插圖和純文字的科學文章，閱讀理解是否有差異。該研究以 Raven 測驗中的非語文測驗作為分組依據，結果發現，高能力兒童比低能力兒童能從插圖中獲得學習幫助，尤其是在理解各種生物原理方面(解釋性訊息)。實驗二則利用眼動追蹤分析高能力與低能力的兒童在文字與插圖的眼動型態，以及在語意相關的文字和圖片訊息之參照情形。結果發現，兩組參與者在插圖上所花費的時間沒有差異，都只花費總閱讀時間的6%在科學圖上，表示讀者閱讀科學文章還是以閱讀文字為主；但高能力兒童會選擇性地投入較多時間重讀與文本相關的圖片訊息，且圖文跳移次數也較多，反映高能力兒童具有更成熟的閱讀學習策略。Jian 與 Ko (2017) 的研究延續類似的問題，但加入文本難度變項，且進一步採用更多元與更精細的眼動指標，並以序列分析(sequential analysis)反映閱讀的動態歷程樣貌，探討四年級高、低閱讀理解能力學生閱讀科學圖文的認知歷程與處理策略的差異。該研究請高低閱讀能力的學生都讀一篇難度普通、一篇困難的科學文章，並完成閱讀理解測驗。研究結果顯示，高閱讀能力學生讀困難文章的總凝視時間(total fixation duration, TFD)比讀簡單文章來的多；但低能力學生則相反，閱讀普通難度的科學文章總凝視時間比讀困難文章來的長。代表讀者能力與文章難度的適配度相當重要，當文章難度超過能力太多，學生很快就放棄，反而文章難度與能力接近，學生會願意多花一點時間心力閱讀文章。此外，該研究也發現低能力學生的單一平均凝視時間(mean fixation duration, MFD)較高能力來的長，代表低能力學生解碼字詞的能力較差。而序列分析的結果則顯示高能力學生會在文本段落以及圖文中做雙向閱讀，也就是讀不懂會往回找訊息，也會做圖片之間的參照；低能力學生則偏向線性閱讀，很少重讀的眼動型態，並有跳行的情形，反映理解監控的能力不足。但兩組圖文之間的參照次數都很少，顯示四年級學生圖文參照與整合的閱讀能力還不成熟。

此外，幾篇以青少年為研究對象的眼動研究，也有一些重要且有趣的發現。Jian (2017) 探討六年級學生在閱讀科學圖文時表現良好與較差的認知過程和讀者特徵。結果發現，表現良好的學生相較表現差的學生有更好的文字辨識能力，且認為科學插圖的吸引力更強。眼動資料的結果則顯示：表現良好的學生在整篇文本、文字與插圖的閱讀時間都較長，於圖上的單一平均凝視時間(MFD)更長，並且擁有更高的圖文跳移次數(the number of saccades between text and diagrams, STD)。另一篇 Jian 等人(2019)的研究探討六年級學生理解科學圖文是否有差異化的閱讀策略。該研究請參與者閱讀含有表徵性與解釋性科學圖片的文章，發現多數學生採用淺層處理策略，在文字和圖片都是匆匆看過，很少仔細讀圖片內容，也很少圖文參照；但也有一些學生會熟練使用圖示訊息，將較多的注意力選擇和分配到解釋性的科學圖，並且會重讀這類圖片。Wu 等人(2021)也有類似的結果，許多六年級學生對於科學圖中的箭頭意義並不清楚，也很少利用插圖中的訊息理解科學文本。此外，Mason 等人(2013a)想了解具體圖和抽象圖對於學生學習科學文章是否有不同的幫助。該研究將11年級生隨機分成三組，純文字組、具體圖文組、抽象圖文組去閱讀科學文章。研究結果發現，與純文本相比，含有具體或抽象的插圖會有更好的學習成效；眼動資料則顯示，相較於具體

圖文組，抽象圖文組讀者透過頻繁地圖文參照，組織與整合相關的語意訊息，因此，重讀文本段落的次數更少、閱讀時間更短，就能達到與具體圖文組差不多的閱讀理解程度。由此可知，抽象圖能更有效率地幫助高生理解文本。

綜上可知，不同能力讀者閱讀科學文章有不同的眼動型態，特別是讀圖和圖文參照的眼動行為有所差異。然而，何以讀者會有這些閱讀的眼動型態？讀者對於眼動資料所得到的客觀量化資料是否會有不同的解釋？例如，讀者看某個科學圖有很長的總凝視時間，代表他／她讀不懂圖中的訊息，或者是覺得圖中訊息很重要，所以要花更多時間做深層的訊息處理？

van Gog 等人 (2005) 提出眼動放聲思考能進一步了解學生在閱讀時的_{理解與想法}，有三種方式：1. 同步放聲思考 (concurrent think aloud, CTA)，要求讀者在進行閱讀任務的同時一併進行放聲思考；此方式可知道閱讀當下的想法，但邊理解邊報導思考方式的閱讀歷程可能跟以閱讀理解為目的的歷程不完全相同；2. 回溯性放聲思考 (retrospective think aloud, RTA)，指的是讀者在完成閱讀任務後，對過程進行口語表達的思考方式；但讀者可能不完全記得他們剛才閱讀時的所有歷程，因此能得到的口語資料相對有限；3. 提示回溯性放聲思考 (cued retrospective reporting) 則融合以上兩種的優勢，也就是讓讀者在眼動實驗後，觀看剛才閱讀文章的眼動影片，並要求學生口頭報告出他們的解釋或想法。研究顯示提示回溯性放聲思考可能可以克服同步和回溯性放聲思考帶來的負面影響，如：可能改變參與者處理任務的方式、語言表達能力尚未發展成熟之參與者可能無法進行等。

目前，文獻上以提示回溯性放聲思考進行眼動閱讀研究都是以成人讀者為參與者，缺乏年輕讀者的研究。因此，本研究希望藉由眼動追蹤與提示回溯性放聲思考的方式，分析當文章中含有特定學術詞彙時，不同閱讀能力的中學生於閱讀理解歷程上的差異，如何處理文章，以及會使用哪些閱讀策略。本研究的三個研究問題如下：

1. 不同閱讀能力的中學生閱讀含有語意透明度不同 (意譯與音譯) 的科學文章，記憶與理解表現是否有差異？(以自由回憶和閱讀理解測驗評量之)

2. 不同閱讀能力的中學生閱讀語意透明度不同 (意譯與音譯) 的科學學術詞彙時，會如何辨識？並會運用什麼樣的訊息幫助處理？(以科學學術詞彙為分析單位，進行眼動型態分析)

3. 不同閱讀能力的中學生閱讀科學圖文的閱讀歷程與採用策略是否不同？(以分析閱讀科學文章的眼動型態和眼動回溯性放聲思考訪談資料回答之)

方法

(一) 研究對象與實驗設計

本研究招募新北市某國中七年級生共 71 名，在父母同意下自願參與。刪除 4 名眼動校準較差和 2 名特殊生的資料，有效樣本 65 名 (37 名女生、28 名男生)，平均年齡 13.12 歲，標準差 0.27 歲。所有研究參與者皆為中文母語者，且有正常或矯正後正常的視力。本研究使用柯華葦與詹益綾 (2007) 編制的「國民中學閱讀推理篩選測驗」進行閱讀能力分組，參照全國常模國一的平均分數，高閱讀能力組 (15 分以上) 有 23 名；中閱讀能力組 (介於 12—14 分) 有 22 名；低閱讀能力組 (11 分以下) 有 20 名。

本研究為雙因子混合設計，閱讀能力高、中、低為受試者間變項，閱讀有音譯和意譯的兩類科學文章為受試者內變項。閱讀順序上，考慮到實驗處理的次序，因此進行對抗平衡 (counterbalance) 的設計，三組閱讀能力組別都各有四分之一的參與者閱讀如下四種的文章順序：1. 生物音譯→生物意譯→理化音譯→理化意譯；2. 生物意譯→生物音譯→理化意譯→理化音譯；3. 理化音譯→理化意譯→生物音譯→生物意譯；4. 理化意譯→理化音譯→生物意譯→生物音譯。

(二) 實驗材料

本研究透過操弄學術詞彙 (音譯或意譯) 設計四篇文章，內容參考自幾個較知名的科普雜誌或網頁，包括：科學少年、泛科學、科技大觀園，進行實驗材料的內容與形式之條件控制的編製 (見表 1)。形式上：(1) 每篇文本在電腦螢幕上皆以相同排版方式呈現，文字在左，兩張彩圖在右；

(2) 每篇文本在螢幕上以單頁呈現(圖 1 示例)。內容上：(1) 音譯、意譯文本的主題都是理化與生物各一篇；(2) 四篇材料裡的目標學術詞彙根據中研院現代漢語語料庫詞頻統計都是低頻詞，有兩個目的：其一，確保讀者若在這些目標學術詞彙有眼動型態的差異不是因詞頻不同造成的詞頻效應(frequency effect)之影響；其二，設計低頻的學術詞彙較有機會回答本研究問題二：讀者會用甚麼訊息幫助自己辨識這些學術詞彙？倘若是高頻詞的學術詞彙，讀者可能原本就很熟悉甚至自動化處理，則無法回應本研究問題二；(3) 每篇文章的字數和詞數皆控制為接近，且目標詞的詞長一樣；(4) 插圖則依 Levin (1982) 的分類，雷達與盤尼西林的上下圖和無線充電的下圖皆為組織類(平均每張圖內有 80 個中文字)；無線充電與血型的上圖皆為解釋類(平均每張圖內有 89 個中文字)；血型下圖為一個比較表(平均有 73 個中文字)；(5) 四篇文本的段落、插圖間皆具有因果脈絡，無線充電、血型文本的因果脈絡關聯程度高，意即只要有一段文句或一張圖的概念不清，另一概念也就難以完理解；雷達、盤尼西林文本的因果脈絡關聯程度則一般，意即儘管不清楚一段文句或是一張圖的概念，但並不影響理解另一概念的過程。

本研究的所有實驗材料與試題都經過專家審查，包括一位科學領域的博士候選人、一位具碩士學位的國中自然科老師，和一位有閱讀心理學專長的大學教授。若文章與試題有語意不順或內容錯誤，則直接給修改建議，最後再修訂為正式實驗材料，以確保實驗材料的正確性和可讀性。此外，此兩位科學專家對圖的分類都有一致的看法(評分者間信度為 .94)，也都評定本實驗材料對國一學生難易度適中(四篇文章各自的難度平均都介於 2.67—4.00)，此與實驗後參與者以五點量表自評的結果接近，意譯文本平均難度 3.05，音譯文本平均難度 3.15(3 是普通難度)。

表 1
文本的細部操弄

主題	無線充電	雷達	血型	盤尼西林
科學領域		理化		生物
科學詞彙	意譯	音譯	意譯	音譯
詞頻	電流磁效應(26) 電磁感應(61)	都卜勒雷達(76) 雷射雷達(161)	血型(8) 凝集反應(0)	盤尼西林(3) 休克(11)
字數	412	408	415	420
詞數	204	213	231	209
圖分類與字數	上：解釋類(130) 下：組織類(55)	上：組織類(63) 下：組織類(63)	上：解釋類(48) 下：表格類(73)	上：組織類(144) 下：組織類(77)
因果關聯程度	關聯程度高	關聯程度一般	關聯程度高	關聯程度一般

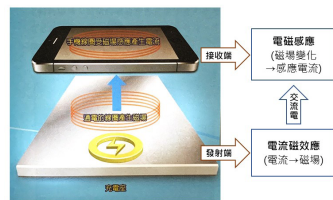
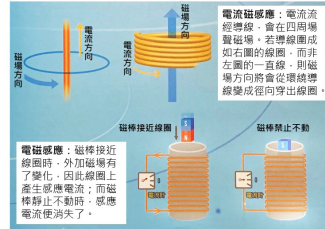
圖 1
眼動實驗的閱讀材料（上：無線充電；下：血型）

無線充電—跟電線說再見

一般見到的無線充電，運用的是「電流磁效應」和「電磁感應」的原理。「電流磁效應」是指將導線圍成環狀，甚至繞成線圈，產生的磁場將會更強、更集中。至於「電磁感應」則是在1831年由法拉第發現的，讓一塊磁鐵或其他的磁場來源靠近一段沒有電流的線圈，線圈上就會產生感應電流。其中電磁感應的成立要件是磁場要有變化，若一直保持不動，是不會有感應電流的。

這兩種物理現象同時運用，就可以進行無線充電。目前的無線充電設備都包含一個「充電座」，裡面正是線圈。將充電座接到家用插頭後，線圈周圍會因為電流磁效應而產生磁場。而要充電的電子產品，裡面也有一個線圈，當它靠近充電座時，充電座的磁場將透過電磁感應，在電子產品的線圈上產生感應電流，當感應電流導引到電池，就形成了無線充電。

但磁場不是要改變才能有電磁感應嗎？原來，家用插座中流出的電是「交流電」，也就是說電流方向不斷地交替變化，一會兒順著流，一會兒反著流，因此符合電磁感應的要件。



關於血型：為什麼O型血能輸給這麼多人？

所謂的「血型」是由存在或缺失特定抗原來決定的。而在解釋何為抗原前，得先了解什麼是抗體。抗體是由免疫系統製造到血液中的蛋白質結構，會專一性地辨認外來物並攻擊外來物，保護我們的身體。而抗原則是能夠被抗體辨認的結構。因為抗體具專一性，所以多數情況下，一種抗體只會攻擊一種抗原，而身體會淘汰攻擊自己的細胞抗原的抗體。抗體就好像認得通緝犯特徵的警察，在體內巡邏時一看到相應特徵就會上前處理，而這些警察通常也不會去誤傷自己人。

因此，當血型不合輸錯血時，就會產生「凝集反應」，抗原被抗體結合、凝集成團塊，以及破壞紅血球造成溶血。其中凝集的红血球可能會塞住小血管；溶血後血紅蛋白大量跑到血中，一來造成紅血球不足，二來則造成黃疸、腎損傷等後果。血型分類中最常見的就是ABO系統。O型血在輸血時最好用，因為上面沒有A或B抗原，輸血給ABO系統中的每一種血型都沒問題。相對的，AB型的血應用範圍就比較窄，只能輸血給AB型的人。



血型	A型	B型	AB型	O型
紅血球型態				
表面抗原	A抗原	B抗原	A、B抗原	無
血液裡的抗體	B抗體	A抗體	無	A、B抗體
受血	A、O型	B、O型	全適用	O型
捐血	A、AB型	B、AB型	AB型	全適用

(三) 測驗工具

1. 前測

為確保本研究實驗材料中的學術詞彙是國一學生不熟悉的概念，得以探討讀者透過閱讀以學習的認知歷程，本研究編製一份學術詞彙熟悉度量表。運用 Likert 四點量表來了解參與者對四篇文本中的八個學術詞彙的熟悉程度（1 完全不知道；4 完全知道），分別詢定義與延伸的概念。受試學生對於本研究所使用的意譯學術詞彙熟悉程度平均為 1.92，音譯學術詞彙熟悉程度平均為 1.86，可以得知參與者對於八個學術詞彙有些微認識，但對於深入的定義與概念熟悉程度皆不高。

在眼動實驗前兩週，參與者學生於班級教室內進行「國民中學閱讀推理篩選測驗」（柯華葳、詹益綾，2007）團測，以了解參與者學生的閱讀能力。該測驗有 18 題單選題，內部一致性介於 .77 至 .81，再測信度介於 .76 至 .82。

2. 後測

閱讀實驗材料後的閱讀理解表現與自由回憶測驗由研究者自編。閱讀理解測驗題共有 20 題，每答對一題得 1 分，測驗信度是 .88。自由回憶則由主試者口頭詢問參與者對文章內容記得什麼並錄音，以了解其對於文本概念記憶的程度（連啟舜等人，2016；黃博聖等人，2017；Mason et al., 2013b），最後打成逐字稿進行評分。

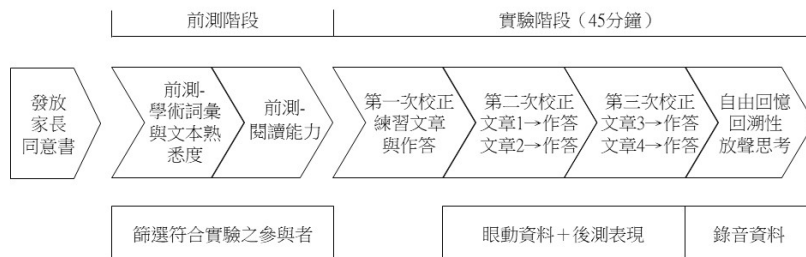
（四）儀器設備

本研究使用眼球追蹤系統 EyeLink Portable Duo，取樣率為 1000Hz。使用固定式下巴架將頭部移動減至最小，進行眼動校正，凝視位置的平均誤差小於 0.5° 視角即通過校正。文本中每個中文字的大小為 25×25 像素，行距則是 30 像素，參與者的眼睛距離螢幕大約 65 公分，因此，實驗材料中每個字約 0.73° 視角，文本的行距約 0.88° 視角。由於本研究分析的最小單位是詞（學術詞彙之目標詞有雙字詞、四字詞、五字詞），因此分析單位有超過 1° 視角。

（五）研究程序

本研究程序分成前測和眼動實驗兩階段，如圖 2 所示。前測進行學術詞彙熟悉度問卷與閱讀能力標準化測驗後，進行眼動實驗。在進行眼動校正前先在螢幕上顯示指導語提醒參與者實驗流程與注意事項，而後讓參與者先閱讀練習文章，並試著作答，以熟悉實驗流程。之後開始閱讀正式文章，每篇文章皆設定三分鐘的閱讀時間，一方面為了控制整體實驗時間於一節課內；另一方面，也是為了模擬正式考試時擁有的時間限制。三分鐘的設定是依據三名七年級生閱讀各篇文章後的平均閱讀時間（2 分 36 秒），確保學生得以在時間內仔細閱讀並學習。每閱讀完一篇文章，就會接著進行該篇文章的測驗，在閱讀完兩篇正式文章後會讓參與者離開下巴架稍作休息，而後再重新進行校正，以閱讀後兩篇正式文章。結束實驗後，主試者會先請參與者進行自由回憶，最後播放參與者自身的眼動追蹤影片進行提示回溯性放聲思考。

圖 2
實驗流程與資料收集



由於國一學生多數無法像大學生可以在主試者不問問題的前提下，自己觀看閱讀的眼動影片並同時報告自己的思考歷程。因此，主試者的提問會分為三個層次的問題：1. 「等一下在看眼動的過程，試著一邊說出自己當時在想什麼」；2. 若參與者無法邊看眼動影片邊口頭報告，則主試者觀察到其閱讀模式後停下影片，再問：「剛剛看到了你的閱讀過程，在閱讀的時候你在想什麼呢？」；3. 若參與者還是沒有說話，則主試者再根據參與者的眼動影片，具體地提出參與者怎麼閱讀的問題，如：「我剛剛發現你先看完文章才看圖，為什麼會依這個順序呢？」。

（六）資料處理與分析

1. 閱讀理解測驗與自由回憶

閱讀文章後的測驗包括閱讀理解題與自由回憶題。閱讀理解題中針對含有音譯和意譯科學學術詞彙的文章所命題的題數分別有 10 題，答對一題 1 分，以正確率進行分析。自由回憶的評分標準以概念單位為給分依據，概念單位就是參與者提及實驗材料中的科學概念，可能是一個字詞或一段敘述，各篇文本的概念數量介於 22—25 之間（無線充電 22、雷達 23、血型 23、盤尼西林 25）。例如：參與者回答：「雷達是三百六十五度旋轉」有「雷達」和「三百六十五度旋轉」兩個概念單位，給 2 分。評分由主試者與另一位熟悉閱讀研究的研究助理進行獨立評分，最後兩位評分者針對給分不一致處進行討論並取得共識分數，Cronbach's $\alpha = .91$ 。

2. 眼動指標分析

本研究所採用的眼動指標共有 11 項，指標計算與所反映的認知歷程綜合前人研究（王孜甯、簡郁苓，2022；Hannus & Hyönä, 1999; Jian, 2021; Mason et al., 2013b; Wu et al., 2021）說明如下：

（1）總閱讀時間（total reading time, TRT）指在文章開始呈現到結束閱讀的這段時間，包含括凝視時間與跳移時間的加總，通常文章難度越高讀者的總閱讀時間會越長；（2）總凝視次數（total fixation count, TFC）指文本中凝視點的個數加總，通常凝視的次數越多，表示擁有更高程度的認知處理；（3）單一平均凝視時間（mean fixation duration, MFD）指將文本的總凝視時間除以凝視點的個數，意即平均每個凝視點的持續時間，單一平均凝視時間越長，表示解碼時間越久，如對低頻詞的處理；（4）平均跳移距離（mean saccade length, MSL）指兩個接續的凝視點之間的平均距離，通常文章訊息密度高，平均跳移距離會比較短；（5）第一個凝視點的凝視時間（first fixation duration, FFD）指第一個落在興趣區域（areas of interest, AOI）之凝視點的停留時間，反映讀者進行字彙處理的初始處理歷程，通常讀低頻字的 FFD 會比較長；（6）第一次連續凝視時間（gaze duration, GD）指凝視點第一次進入 AOI 直到離開前，該期間的所有凝視點時間加總，反映詞彙處理的初始處理歷程，通常讀者讀低頻詞或不熟悉詞的 GD 會比較長；（7）再次凝視時間（revisited/second-pass fixation duration）指凝視點離開 AOI 之後再次或多次重新進入的所有凝視時間加總，反映閱讀的晚期處理階段，通常不理解時讀者會有重讀的行為；（8）總凝視時間（total fixation duration, TFD）：指落在 AOI 的所有凝視點時間加總，通常閱讀文章難度較高的文本會需要較長的總凝視時間。由於本研究四篇實驗材料的字數不完全相同（介於 408—420 字），除了運用總閱讀時間進行分析，還會進一步比較除以各篇字數的閱讀時間，亦即，每字的總凝視時間，以公平的比較各篇的眼動處理時間；（9）凝視時間百分比（proportion of fixation duration）指某個 AOI 上的總凝視時間除以閱讀事件的總凝視時間，得以反映出讀者的選擇性注意在不同的興趣區域比例，如讀者會花多少百分比的時間處理文區或圖區的訊息；（10）圖文跳移次數（the numbers of saccades between text and diagrams, STD）眼動位置從文區跳到圖區和從圖區跳到文區的次數加總，反映讀者嘗試參照與整合圖文訊息的歷程；（11）圖區跳移次數（number of saccades between diagrams）指凝視點從某圖 AOI 到不同圖 AOI 的次數加總，反映閱讀時不同圖區參照整合的歷程。

其中，為回應本研究不同研究問題所需的分析單位，會根據文獻常用的指標，採用上述 11 個眼動指標中的不同組合。例如：文獻上純文字閱讀眼動研究（官英華，2020；Chen & Chen, 2020; Jian et al., 2013）分析「詞單位」的常用指標有五個：第一個凝視點的凝視時間、第一次連續凝視時間、再次凝視時間、總凝視時間與總凝視次數，以探討讀者在詞單位的初始處理與晚期處理之閱讀

歷程；而在分析「圖文文章單位」時則有不完全相同的指標，圖文眼動文獻（Jian, 2021; Mason et al., 2013b; Wu et al., 2021）常用的指標有六個：總閱讀時間、每字平均凝視時間、總凝視次數、單一平均凝視時間、跳移距離、圖的凝視時間百分比，依序先看讀者在整篇文章的大致眼動型態，再細看文章中文字與圖片不同的處理歷程與圖文參照歷程。故，本研究進行資料分析時，會針對實驗材料內的不同分析單位採用不同的眼動指標組合，以達回應不同研究問題之所需。此外，本研究亦依照文獻上的做法，排除低於 100 毫秒的單一凝視點資料，大約 6%。

3. 提示回溯性放聲思考分析

首先，將放聲思考內容打成逐字稿並檢視原案資料，研究者以 PIRLS 的閱讀理解四層次（表 2）：提取訊息、推論訊息、詮釋整合及比較評估（柯華葳等人，2017），將不同能力組的參與者進行閱讀理解層次上的區分，其中將推論訊息與詮釋整合（皆為深度閱讀處理）合併呈現。

表 2
四種閱讀理解層次之定義與界定

閱讀理解策略	定義與界定
提取訊息	讀者能夠直接找出文本段落或圖中的重要訊息，包含重要詞彙的定義等。
推論訊息	讀者可以連結文本段落內、圖示之間或文本段落與圖示之間的訊息，來推斷訊息之間的關係。
詮釋整合	讀者需要運用自己的既有知識或經驗，去理解與建構文本中的細節，並整合文章各段落或圖中的重要訊息，如文本大意的歸納、文本訊息於現實中應用的可能性等。
比較評估	讀者需要運用自己的既有知識或經驗，對文本中的訊息進行比較、批判，如作者的寫作目的、判斷文章的完整性等。

之後，研究者再將參與者所運用的閱讀理解策略進行細部歸納（表 3），包含：找重點、由上下文推測字／詞意、重讀、釋義、聯想延伸、形成問題、運用插圖訊息、連結情節、統整圖文信息、自我評估、見解與觀點、策略調節，12 種常見於其他相關研究與書籍中的閱讀理解策略（吳訓生，2002；柯華葳等人，2017；張苑真、辜玉旻，2011）。此外，研究者依逐字稿原案，加以界定了 5 種錯誤／負向的閱讀理解處理，分別為無意義的分歧聯想、重點認知錯誤、發呆／放空、不清楚閱讀目的、非理性行為。然後，研究者與一位研究助理獨立針對各原案資料判斷屬於何種閱讀理解策略或錯誤／負向的閱讀理解處理項目（表 4），再針對判別項目不同的原案進行討論取得共識，評分者間信度 Cronbach's α 為 .90。

表 3
十二種閱讀理解策略與五種負向閱讀處理方式之定義與界定

層次	閱讀理解策略	定義與界定
提取訊息	找重點	讀者自己說出或是答出文本段落或圖中的重要訊息。
	由上下文推測字／詞意	讀者運用字／詞彙的上下語句，進而掌握字／詞彙於脈絡中的含意。
	重讀	讀者複讀文本中的段落語句或圖。
	釋義	讀者以自己熟悉的話語去詮釋文本中的文字、句子或圖的涵義。
推論	聯想延伸	讀者以自己的先備知識，對文本段落或圖的意涵做聯想或延伸。
	形成問題	讀者對文本段落的內容產生疑問，並嘗試去回答之。
	運用插圖訊息	讀者會運用（針對）插圖中的內容訊息，以協助自身理解文本內容。
	連結情節	讀者得以連結文本中的前後脈絡與因果關係，並找出連貫的意義
整合	統整圖文訊息	讀者得以將詞彙、文章段落與插圖之間的訊息進行整合。

（續下頁）

表 3
十二種閱讀理解策略與五種負向閱讀處理方式之定義與界定（續）

層次	閱讀理解策略	定義與界定
比較評估	自我評估	讀者表現出理解或不理解文章段落或圖的訊息，或清楚了解自己目前閱讀的狀況。
	見解與觀點	讀者得以對文句或插圖內容提出自己的想法、省思或評論。
	策略調節	讀者會依文本的類型、內容、難度等採取適合的方式調整閱讀策略，以解決困難。
負向處理	無意義的分歧聯想	讀者於閱讀文章或圖時，進行發散式且有無意義的聯想。
	重點認知錯誤	讀者將文本中的非重要訊息視為重要訊息，或者將重要訊息認知為非重要訊息。
	發呆、放空	讀者閱讀到一半視線離開文本，開始放空腦袋、停止思考。
	不清楚閱讀目的 非理性行為	讀者對於自己的閱讀處理的目的不清楚，不知道自己為何以如此方式進行閱讀。 知道自己正在做什麼，但行為沒有邏輯。

表 4
研究參與者觀看眼動影片口頭報告原案紀錄示例表

參與者編號	閱讀行為或問題	原案	閱讀理解策略／負向的閱讀理解
001	Q：你先看文章，然後再去看圖，為什麼？	S：因為想說圖裡面的東西在文章裡會了解得比較清楚，這樣先看完文章再看圖會比較了解一點。	運用插圖訊息 統整圖文訊息 策略調節
	Q：你這裡看完圖後又跳回文，為什麼？	S：因為我再複習一遍（選擇性快速複習）。	重讀
	Q：我發現你在看上圖之前，先看了一下圖，為什麼？	S：因為看到那個圖裡面講 A、B 什麼的，感覺比較複雜，所以先看了一下。	運用插圖訊息 自我評估
	Q：我發現你看圖時也大部分在看字，比較沒有看圖，為什麼？	S：不知道。	不清楚閱讀目的

結果

以下為回答本研究問題逐一呈現研究結果，除了整體眼動分析以單因子變異數分析外，皆使用二因子變異數分析，閱讀能力為受試者間變項，詞彙類型（意譯或音譯）、圖類型（組織、解釋與表格）或文本主題（四篇）為受試者內變項，依變項為測驗表現或多個眼動指標。至於，眼動提示回溯性放聲思考訪談資料，會先針對四個閱讀層次進行比較分析，再進行 17 個子策略使用次數的分析，以了解不同閱讀能力的中學生閱讀科學圖文採用的閱讀策略是否有所不同。

（一）測驗資料分析結果

為回答研究問題一：不同閱讀能力的中學生閱讀含有語意透明度不同（意譯與音譯）的科學文章，記憶與理解表現是否有差異？本研究分析三組閱讀能力讀者在意譯與音譯文本的測驗正確率和自由回憶分數。表 5 發現在閱讀理解測驗的正確率上，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 4.29, p < .05, \eta^2 = .12$ ，文本類型沒有主要效果，兩者無交互作用， $ps > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組的閱讀理解測驗正確率顯著高於低能力組， $p < .05$ 。至於在自由回憶的表現，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 4.42, p < .05, \eta^2 = .13$ ，詞彙類型亦具有主要效果，意譯文本的自由回憶得分顯著高於音譯文本， $F(1, 62) = 25.36, p < .05, \eta^2 = .29$ ，兩者無交互作用， $p > .05$ 。閱讀能力的事後檢定發現，高能力組自由回憶表現顯著優於中能力和低能力組， $ps < .05$ 。

表 5
意譯與音譯文本閱讀理解與自由回憶表現之平均數與標準差

測量向度	閱讀能力	意譯文本		音譯文本		組間與組內 差異
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
閱讀理解測驗 (正確率)	高	0.57	0.23	0.66	0.19	高 > 低
	中	0.58	0.20	0.58	0.17	
	低	0.47	0.17	0.50	0.16	
自由回憶 (概念分數)	高	6.17	4.18	3.78	4.16	高 > 低; 高 > 中 意譯 > 音譯
	中	3.75	3.49	2.32	2.85	
	低	3.20	2.41	1.68	1.40	

(二) 眼動與提示回溯性放聲思考資料分析結果

1. 科學學術詞彙

為回答研究問題二：不同閱讀能力的中學生如何辨識語意透明度不同（意譯與音譯）的科學學術詞彙？並會運用什麼樣的訊息幫助處理？本研究以「科學學術詞彙」為分析單位，眼動指標包括反映初始處理第一個凝視點的凝視時間、第一次連續凝視時間、再次凝視時間、總凝視時間、總凝視次數，以反映參與者初始與晚期處理階段的差異，以及認知處理的程度。經常態檢定，這五個眼動指標的數據皆為非常態，因此將數值取 LOG 後再進行變異數分析 (Mason et al., 2013b)。

表 6 結果顯示只有在第一次連續凝視時間的指標上，文本類型有主要效果， $F(1, 62) = 6.04, p < .05, \eta^2 = .09$ ，音譯學術詞彙的第一次連續凝視時間顯著高於意譯學術詞彙，閱讀能力無主要效果，且無交互作用， $ps > .05$ 。其他四個眼動指標之閱讀能力、文本類型皆無主要效果，兩者亦無交互作用， $ps > .05$ 。此外，為探討不同閱讀能力之中學生會運用文字脈絡訊息或相關的圖片來理解學術詞彙，同樣使用雙因子變異數分析，但依變項為參與者的眼球離開學術詞彙後會轉移到學術詞彙的下一個句子或轉移到相關圖片的跳移次數。表 7 結果顯示轉移位置有主要效果， $F(1, 62) = 101.87, p < .05, \eta^2 = .62$ ，參照文中句子的次數顯著高於參照科學圖，閱讀能力無主要效果，閱讀能力和訊息處理方式無交互作用， $ps > .05$ 。

表 6
科學學術詞彙（意譯與音譯）在各眼動指標的平均數與標準差

眼動指標	閱讀能力	意譯學術詞彙		音譯學術詞彙		組間與組內 差異
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
第一個凝視點的 凝視時間 (FFD) (毫秒)	高	217.09	57.28	212.58	44.84	
	中	235.50	66.04	230.36	73.99	
	低	240.65	76.16	242.46	85.75	
第一次連續凝視 時間 (GD) (毫秒)	高	415.53	271.49	481.39	209.73	音譯 > 意譯
	中	491.07	353.84	539.46	284.07	
	低	438.08	315.13	508.98	353.65	
再次凝視時間 (毫秒)	高	996.78	570.49	913.25	685.83	
	中	870.56	797.53	1182.15	916.32	
	低	1141.26	960.21	1318.61	1508.10	
總凝視時間 (TFD) (毫秒)	高	1412.32	229.13	1394.64	755.96	
	中	1361.63	700.29	1721.60	777.54	
	低	1579.34	1009.92	1827.59	1456.80	

(續下頁)

表 6
科學學術詞彙（意譯與音譯）在各眼動指標的平均數與標準差（續）

眼動指標	閱讀能力	意譯學術詞彙		音譯學術詞彙		組間與組內 差異
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
總凝視次數（TFC）	高	5.92	2.66	5.83	2.91	
	中	5.80	3.43	6.94	3.18	
	低	5.91	3.24	6.55	4.29	

表 7
眼動離開學術詞彙後轉移到後句或圖的跳移次數之平均數與標準差

測量向度	閱讀能力	眼動轉移到後句		眼動轉移到圖		組間與組內 差異
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
第一個凝視點的 凝視時間（FFD） （毫秒）	高	1.83	0.93	0.20	0.25	
	中	1.67	1.12	0.16	0.24	後句 > 圖
	低	1.95	1.79	0.14	0.19	

2. 科學文章

為回答研究問題三：不同閱讀能力的中學生閱讀科學圖文的閱讀歷程與採用策略是否不同？本研究分析讀者閱讀「科學文章」的眼動型態和眼動回溯性放聲思考訪談資料回答之。分析層次先是整篇文章、再來是不同類型的圖和圖文之間的參照。

（1）**整體分析**。本研究使用單因子變異數分析，自變項為閱讀能力，依變項為平均四篇文本的六項眼動指標，總閱讀時間、每字平均凝視時間、總凝視次數、單一平均凝視時間、跳移距離、圖的凝視時間百分比，從整體的角度檢視不同閱讀能力的參與者閱讀圖文文本的差異，包含文字與插圖。表 8 顯示在單一平均凝視時間的指標，閱讀能力具有顯著差異， $F(2, 62) = 3.36, p < .05, \eta^2 = .10$ ，事後檢定發現高能力組的單一平均凝視時間顯著短於低能力組， $p < .05$ 。在圖的凝視時間百分比的指標，閱讀能力具有顯著差異， $F(2, 62) = 3.20, p < .05, \eta^2 = .09$ ，事後檢定發現高能力組的圖的凝視時間百分比顯著高於低能力組， $p < .05$ 。其他眼動指標的閱讀能力皆無顯著差異， $ps > .05$ 。

表 8
不同閱讀能力組在文章整體之眼動指標的平均數與標準差

眼動指標	整體文本						組間差異
	高		中		低		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
總閱讀時間 （TRT）（秒）	130.32	40.19	126.26	42.93	119.15	44.16	
每字平均凝視時間 （毫秒）	314.98	97.13	305.15	103.76	287.98	106.73	
總凝視次數 （TFC）	450.40	142.09	417.34	145.87	372.04	131.70	
單一平均凝視時間 （MFD）（毫秒）	246.27	22.25	260.72	40.73	272.45	34.48	高 < 低
跳移距離 （MSL）（視角度數）	2.94	0.42	2.90	0.43	3.12	0.65	
圖的凝視時間 百分比	28%	11%	27%	13%	20%	9%	高 > 低

(2) 圖類型。為了解不同閱讀能力的讀者是否在不同科學圖類型上會有不同的眼動型態，本研究進行二因子變異數分析，閱讀能力和圖類型為自變項，眼動指標為依變項，包括：第一次連續凝視時間、再次凝視時間、總凝視時間、單一平均凝視時間、凝視時間百分比，以反映參與者在初始、晚期以及整體上處理不同圖類型的差異。而由於不同類型的圖數量不同，故表 9 裡計算的是平均每張圖的凝視時間或凝視比例。研究結果發現，在第一次連續凝視時間與單一平均凝視時間的指標上，閱讀能力、文本類型皆無主要效果，兩者亦無交互作用， $ps > .05$ 。在再次凝視時間的指標，閱讀能力無主要效果， $p > .05$ ，圖片類型具有主要效果， $F(2, 124) = 24.98, p < .05, \eta^2 = .29$ ，表格類的再次凝視時間顯著長於組織類與解釋類，兩者無交互作用， $p > .05$ 。在總凝視時間的指標，閱讀能力無主要效果， $p > .05$ ，圖片類型具有主要效果， $F(2, 124) = 41.51, p < .05, \eta^2 = .40$ ，表格類的總凝視時間顯著長於組織類與解釋類，而解釋類又顯著長於組織類，兩者無交互作用， $p > .05$ 。在凝視時間百分比的指標，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 4.15, p < .05, \eta^2 = .12$ ，圖片類型亦具有主要效果， $F(2, 124) = 54.49, p < .05, \eta^2 = .047$ ，兩者無交互作用， $ps > .05$ 。

(3) 圖文或圖間參照。於相關參照方面，以三組不同閱讀能力為受試者間變項、四篇文本主題為受試者內變項，依變項為各項眼動指標，包含圖文跳移次數、圖間跳移次數，以檢視圖文與圖間的整合歷程，進行二因子變異數分析。表 10 結果發現，在圖文跳移次數的指標，閱讀能力無主要效果， $p > .05$ ，文本主題有主要效果， $F(3, 62) = 3.31, p < .05, \eta^2 = .05$ ，無線充電與血型文本的圖文跳移次數顯著多於雷達文本，兩者無交互作用， $p > .05$ 。由於本研究也關心不同閱讀能力讀者在圖文參照或圖間參照是否有不同的表現，進一步分割閱讀能力組別後發現中能力組的文本主題有主要效果， $F(3, 62) = 2.85, p < .05, \eta^2 = .12$ ，無線充電與血型文本的圖文跳移次數顯著多於雷達文本。在圖間跳移次數的指標，閱讀能力無主要效果， $p > .05$ ，文本主題具有主要效果， $F(3, 62) = 3.29, p < .05, \eta^2 = .05$ ，血型文本的圖間跳移次數顯著多於雷達文本，兩者無交互作用， $p > .05$ ；進一步分割閱讀能力後發現高能力組的文本主題具有主要效果， $F(3, 62) = 3.31, p < .05, \eta^2 = .13$ ，無線充電與血型文本的圖間跳移次數顯著多於雷達文本；低能力組的文本主題具有主要效果， $F(3, 62) = 2.89, p < .05, \eta^2 = .13$ ，血型文本的圖間跳移次數顯著多於無線充電文本。

表 9
圖片類型之眼動數據的平均數與標準差

眼動指標	閱讀能力	組織類圖片		解釋類圖片		表格類圖片		組間與組內 差異
		M	SD	M	SD	M	SD	
第一次連續 凝視時間 (GD) (秒)	高	5.66	5.68	5.21	6.79	5.24	9.44	
	中	4.80	4.14	4.67	7.55	8.62	10.91	
	低	4.00	4.29	4.72	7.34	5.00	9.95	
再次凝視時間 (秒)	高	7.86	6.09	11.66	10.45	23.74	23.05	表格 > 解釋，組織
	中	8.78	8.43	9.96	11.12	20.68	21.29	
	低	5.88	6.34	5.75	5.57	14.20	16.40	
總凝視時間 (TFD) (秒)	高	13.52	7.61	16.87	10.69	28.98	21.60	表格 > 解釋，組織
	中	13.52	9.57	14.63	12.59	29.30	18.87	
	低	9.89	7.13	10.47	9.28	19.19	17.93	
單一平均凝視時間 (MFD) (毫秒)	高	237.89	74.61	230.56	56.64	249.10	44.57	
	中	246.04	41.82	242.64	61.03	222.39	65.39	
	低	244.91	35.64	233.49	57.53	254.93	46.63	
凝視時間 百分比	高	12%	5%	14%	7%	25%	14%	表格 > 解釋，組織； 高，中 > 低
	中	11%	6%	12%	8%	25%	12%	
	低	9%	4%	9%	6%	16%	11%	

表 10
不同閱讀能力讀者進行圖文與圖間參照之眼動數據的平均數與標準差

眼動指標	閱讀能力	無線充電文本		血型文本		雷達文本		盤尼西林文本		組間與組內差異
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
圖文跳移次數 (STD)	高	3.96	2.34	5.00	2.58	4.26	2.67	3.96	3.17	無線充電, 血型 > 雷達
	中	6.27	4.51	6.55	3.78	4.41	2.99	5.64	4.50	
	低	6.05	4.55	5.60	2.70	4.65	2.62	5.50	5.47	
圖間跳移次數	高	2.87	2.32	3.30	4.69	1.04	1.33	1.57	2.17	血型 > 雷達
	中	2.36	2.87	2.73	2.93	2.46	2.96	2.18	2.46	
	低	1.30	2.27	3.30	2.99	1.80	1.58	2.70	2.27	

(三) 提示回溯性放聲思考

由於本研究的國一學生能主動進行放聲思考的人數不多，而研究參與者的眼動型態不同會使得主試者提問的次數也不同，因此，統計考驗是以參與者平均被主試者問一個問題會說出幾個閱讀策略（亦即除以問題數）來計算，以進行公平的分析。

1. 四種層次的閱讀策略使用

表 11 結果發現，在閱讀策略的使用總次數上，閱讀能力具有主要效果， $F(2, 62) = 3.24, p < .05, \eta^2 = .10$ ，詞彙類型有邊緣主要效果， $F(1, 62) = 3.09, p = .08, \eta^2 = .05$ ，意譯文本的整體策略使用次數邊緣顯著高於音譯文本，兩者無交互作用， $p > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組使用整體策略的次數顯著多於低能力組， $p < .05$ 。個別看細項的閱讀策略使用：在使用推論與整合策略上，閱讀能力具有主要效果， $F(2, 62) = 5.52, p < .05, \eta^2 = .15$ ，詞彙類型亦有主要效果， $F(1, 62) = 13.94, p < .05, \eta^2 = .18$ ，意譯文本的推論與整合次數顯著高於音譯文本，兩者無交互作用， $p > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組使用推論與整合的次數顯著多於中與低能力組， $ps < .05$ 。在比較評估策略上，閱讀能力具有主要效果， $F(2, 62) = 4.07, p < .05, \eta^2 = .12$ ，詞彙類型沒有主要效果，兩者無交互作用， $ps > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現高能力組使用比較評估的次數顯著多於低能力組， $p < .05$ 。在負向閱讀處理方式上，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 9.57, p < .05, \eta^2 = .24$ ，詞彙類型沒有主要效果，兩者無交互作用， $ps > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，低能力使用負向閱讀處理的次數顯著多於中與高能力組， $ps < .05$ 。

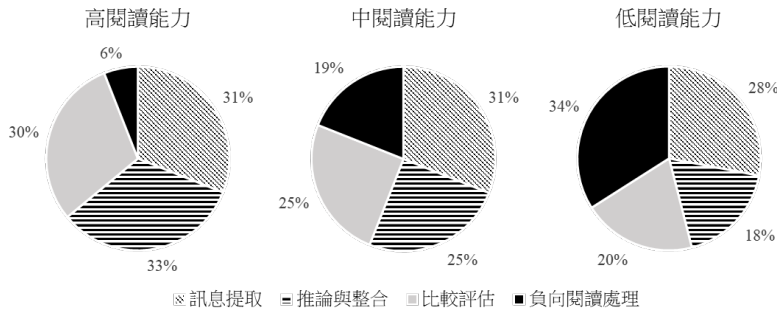
表 11
不同閱讀能力讀者在四種層次的閱讀策略使用次數之平均數與標準差

閱讀層次	意譯文本： <i>M (SD)</i>			音譯文本： <i>M (SD)</i>			組間與組內差異
	(每一問題回答的閱讀策略次數)			(每一問題回答的閱讀策略次數)			
	高	中	低	高	中	低	
閱讀策略使用總次數	.95 (.69)	.82 (.40)	.74 (.30)	.80 (.42)	.69 (.51)	.56 (.26)	高 > 低 意譯 ≥ 音譯
訊息提取	.26 (.35)	.21 (.23)	.15 (.18)	.31 (.21)	.27 (.30)	.22 (.24)	
推論與整合	.33 (.25)	.21 (.15)	.18 (.20)	.20 (.19)	.11 (.22)	.06 (.12)	高 > 中, 低 意譯 > 音譯
比較評估	.31 (.31)	.24 (.22)	.14 (.15)	.24 (.23)	.17 (.17)	.12 (.14)	高 > 中 > 低
負向閱讀處理	.06 (.13)	.15 (.18)	.27 (.30)	.05 (.10)	.14 (.15)	.16 (.19)	高 < 中, 低

註：「意譯 ≥ 音譯」中的「≥」代表邊緣顯著。

圖 3 則顯示各組運用閱讀策略的百分比，結果發現高閱讀能力組運用推論與整合層次的比例最高；中閱讀能力組運用訊息提取層次的比例最高；低閱讀能力組進行負向閱讀處理的比例最高。

圖 3
不同閱讀能力組使用四種閱讀層次策略次數的百分比



2.17 種子閱讀策略的使用參考文獻

本研究進一步將上述四種閱讀層次分為 17 種子策略（表 12），以閱讀能力為受試者間變項、詞彙類型為受試者內變項，十二種閱讀策略與五種負向閱讀處理方式除以人數與問題數的使用次數為依變項，進行二因子變異數分析。

研究結果發現有五種閱讀策略有組間或組內的差異，其餘策略的使用次數沒有顯著差異。在聯想延伸的策略使用，閱讀能力沒有主要效果， $p > .05$ ，詞彙類型有主要效果， $F(1, 62) = 8.46, p < .05, \eta^2 = .12$ ，意譯文本的聯想延伸次數顯著高於音譯文本，兩者無交互作用， $p > .05$ 。在運用插圖訊息的策略使用，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 3.71, p < .05, \eta^2 = .11$ ，詞彙類型亦有主要效果， $F(1, 62) = 6.45, p < .05, \eta^2 = .10$ ，讀者閱讀意譯文本運用插圖訊息次數顯著高於音譯文本，兩者無交互作用， $p > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組運用插圖訊息的次數顯著多於中與低能力組， $ps < .05$ 。在統整圖文訊息的策略使用，閱讀能力具有邊緣主要效果， $F(2, 62) = 3.12, p = .05, \eta^2 = .09$ ，詞彙類型沒有主要效果，兩者無交互作用， $ps > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組使用統整圖文訊息的次數顯著多於低能力組。在重點認知錯誤的次數，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 4.43, p < .05, \eta^2 = .13$ ，詞彙類型沒有主要效果，兩者無交互作用， $ps > .05$ ；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組重點認知錯誤的次數顯著少於中與低能力組， $p < .05$ ；在不清楚閱讀目的的次數，閱讀能力有主要效果， $F(2, 62) = 3.63, p = .05, \eta^2 = .11$ ，詞彙類型亦有主要效果， $F(1, 62) = 10.54, p < .05, \eta^2 = .15$ ，意譯文本中不清楚閱讀目的的次數顯著多於音譯文本；閱讀能力的事後檢定發現，高能力組不清楚閱讀目的的次數顯著少於低能力組， $p < .05$ 。

表 12
組間或組內有差異的五種子閱讀策略或負向策略使用次數之平均數與標準差

層次	閱讀策略或負向閱讀處理	意譯文本：M (SD) (每一問題回答的閱讀策略次數)			音譯文本：M (SD) (每一問題回答的閱讀策略次數)			組間與組內差異
		高	中	低	高	中	低	
訊息提取	找重點	.12 (.23)	.09 (.15)	.09 (.14)	.11 (.13)	.13 (.17)	.09 (.13)	
	由上下文推測字／詞意	.03 (.11)	.00 (.00)	.00 (.00)	.03 (.07)	.04 (.08)	.01 (.04)	
	重讀	.09 (.11)	.12 (.13)	.06 (.11)	.15 (.18)	.10 (.15)	.12 (.14)	
	釋義	.02 (.07)	.01 (.04)	.00 (.00)	.01 (.05)	.00 (.00)	.00 (.00)	

(續下頁)

表 12
組間或組內有差異的五種子閱讀策略或負向策略使用次數之平均數與標準差（續）

層次	閱讀策略或負向閱讀處理	意譯文本：M (SD) (每一問題回答的閱讀策略次數)			音譯文本：M (SD) (每一問題回答的閱讀策略次數)			組間與組內差異
		高	中	低	高	中	低	
推論與整合	聯想延伸	.04 (.07)	.03 (.08)	.03 (.09)	.00 (.02)	.02 (.06)	.00 (.00)	意譯 > 音譯
	形成問題	.00 (.02)	.02 (.05)	.01 (.06)	.03 (.11)	.00 (.00)	.00 (.00)	
	運用插圖訊息	.19 (.15)	.10 (.12)	.12 (.15)	.11 (.12)	.06 (.13)	.06 (.12)	高 > 中，低 意譯 > 音譯
	連結情節	.04 (.07)	.00 (.00)	.00 (.00)	.00 (.00)	.00 (.00)	.00 (.00)	
	統整圖文訊息	.06 (.11)	.07 (.10)	.02 (.05)	.06 (.08)	.03 (.10)	.00 (.00)	高 > 低
比較評估	自我評估	.19 (.21)	.17 (.17)	.11 (.13)	.20 (.24)	.11 (.15)	.10 (.13)	
	見解與觀點	.02 (.07)	.03 (.07)	.00 (.00)	.01 (.03)	.01 (.05)	.00 (.00)	
	策略調節	.09 (.13)	.04 (.10)	.03 (.09)	.04 (.07)	.05 (.09)	.02 (.07)	
負向閱讀處理	無意義的分歧聯想	.00 (.00)	.00 (.00)	.02 (.07)	.00 (.00)	.00 (.00)	.03 (.08)	
	重點認知錯誤	.01 (.04)	.03 (.08)	.10 (.20)	.02 (.07)	.09 (.12)	.06 (.12)	高 < 中，低
	發呆、放空	.01 (.03)	.02 (.05)	.01 (.06)	.01 (.04)	.00 (.00)	.03 (.07)	
	不清楚閱讀目的	.03 (.08)	.11 (.14)	.13 (.19)	.02 (.05)	.02 (.06)	.05 (.09)	高 < 低 意譯 > 音譯
	非理性行為	.01 (.04)	.00 (.00)	.01 (.04)	.00 (.00)	.03 (.08)	.00 (.00)	

討論

本研究運用眼動追蹤探討不同閱讀能力的中學生閱讀科學圖文的認知歷程與處理策略，以及遇到語意透明度高（意譯）與低（音譯）之學術詞彙時讀者如何處理。本研究結合多向度的資料：閱讀理解測驗表現、反映閱讀歷程的眼動資料，以及眼動回溯放聲思考訪談資料，獲得許多發現且相互驗證，研究結果討論分述如下：

（一）高閱讀能力的中學生閱讀理解與自由回憶表現較佳

本研究發現，於閱讀理解與自由回憶表現中，無論文本類型，高閱讀能力中學生的表現皆比低閱讀能力中學生來得好，呼應過往的兩篇研究，Jian 與 Ko（2017）提出高閱讀能力四年級生的閱讀理解表現較低閱讀能力組好；連啟舜等人（2016）則發現，閱讀能力較佳的優讀者（三年級與六年級生），在自由回憶與文本理解表現上皆顯著優於弱讀者。綜上，無論是小學或中學學生，擁有越好的閱讀能力，對文章內容的記憶與理解表現都越好。此外，在意譯文本的理解表現上，高與中閱讀能力中學生的表現則幾乎沒有差異，但皆比低閱讀能力中學生好很多。

（二）中學生讀科普文章的閱讀歷程與策略

1. 中學生仰賴文字訊息進行科學閱讀

本研究發現不論閱讀能力，亦不論文本類型，中學生於閱讀科學圖文時，主要仰賴文字訊息。有三點支持證據：（1）無論閱讀能力高、中、低的學生，平均在文、圖閱讀時間比例差不多都接近 75%：25%；（2）學生閱讀文章中的科學學術詞彙之後，眼球轉移到句子尋求理解訊息的次數

顯著比轉移到圖找訊息來的多；(3) 提示回溯性放聲思考中的資料亦支持此結論：多數中學生表明，看文章多以文字為主，其中，低閱讀能力學生認為圖較為困難、看不懂而多較少時間閱讀圖；高閱讀能力學生則認為先將文章讀完，再看圖會比較容易理解，也才更能從圖中獲得協助理解文本的資訊。在圖文閱讀的歷程中，以文字主導 (text-driven) 的閱讀行為似乎是一個跨年紀的普遍現象。過去的研究發現不論是小學生 (Hannus & Hyönä, 1999; Jian & Ko, 2017; Wu et al., 2021) 還是大學生成人讀者 (Hegarty & Just, 1993; Schnotz et al., 2014)，都展現以文字主導的閱讀歷程。Hannus 與 Hyönä (1999) 的研究指出四年級學生無論高低能力閱讀科學教科書的生物內容，超過九成的時間都在讀文字，僅 6% 的時間在科學插圖上；Wu 等人 (2021) 也發現六年級生讀科學文章的讀圖時間很少超過 10%；Hegarty 與 Just (1993) 則指出成人讀者在讀科學圖文文章時，傾向先讀完文字的整個段落，再去參照語意相關的圖片訊息。Schnotz 等人 (2014) 認為閱讀文字句子比看圖片更容易形成語意連貫的處理 (coherence-oriented general processing)，進而形成讀者的心智模式，也就是對文章的理解，因此若是讀者抱持透過閱讀學習知識的閱讀目的 (goal-directed knowledge acquisition)，通常就會以文字閱讀為主；而當目標作業是要從閱讀中回答問題某個特定問題，圖片則被假定是更容易提取訊息的外在表徵，在此情境下，讀圖時間就會提高。

2. 中學生如何解碼不同語意透明度的學術詞彙

本研究發現中學生會因學術詞彙的語意透明度高低調整解碼策略。相較於音譯學術詞彙，處理意譯學術詞彙只需要較短的第一次連續凝視時間 (GD)，當遇到解碼語意透明度較高的意譯學術詞彙，讀者會嘗試從字義 (詞素) 組成詞義，且或多或少能理解該學術詞彙的意義，因此不需要花太多時間進行解碼。這種將字詞解碼為更小單位，企圖藉由組成單位意義理解全詞意義的作法跟前人以字的研究結果類似。先前的研究 (洪國鈞等人, 2010; Lee et al., 2014) 發現中小學生傾向將中文字拆解進行解碼，並會受其部件的語意透明度影響，讀者會藉由字的語意部件 (如部首) 嘗試理解整字意義。反之，本研究發現音譯學術詞彙的第一次連續凝視時間 (GD) 較處理意譯學術詞彙來的長，因為遇到解碼語意透明度較低的音譯學術詞彙，讀者的眼動型態反映他們從字義 (詞素) 組成詞義的過程有困難，因此需要花較長的時間進行解碼，並接著會轉換閱讀策略，從後句的訊息推測詞義。本研究發現中學生讀者處理學術詞彙時，也跟成人讀者一樣於閱讀的初始處理階段就會花較多時間解碼學術詞彙 (Jian & Ko, 2014)。

然而，本研究發現不同閱讀能力的中學生處理科學學術詞彙的眼動型態沒有太大的差異，無論是在閱讀處理的初始階段或晚期階段。一般而言，高閱讀能力的讀者解碼字詞的速度應該較快 (陳明蕾、柯華葳, 2013; Hannus & Hyönä, 1999; Jian & Ko, 2017)，因此，反映在初始處理階段的第一個凝視點的凝視時間 (FFD) 和第一次連續凝視時間 (GD) 應該比低能力讀者來的短，但本研究卻沒有這樣的發現。由於本研究選的目標學術詞彙都是低頻詞，且在預試階段先以問卷確認七年級學生多半對這些目標詞的意義並不熟悉，因此，本研究推測這兩個原因可能是不同閱讀能力在學術目標詞的眼動指標都沒有顯著差異的原因。

3. 不同閱讀能力的中學生針對圖類型的閱讀歷程與策略運用

本研究發現，各閱讀能力的中學生皆清楚表格類插圖的重要性，不過在各類插圖的處理上仍有其差異存在。Mayer (2005) 的多媒體學習認知理論指出經過圖文之間的選擇、組織與整合，才能達到有意義之學習；Schnotz 與 Bannert (2003) 的圖文理解整合模型則強調語言與圖像模式的處理是持續的互動且互相影響。以上兩個圖文理解已有實徵研究提出驗證，圖文整合程度越高，其學習成效也會更佳 (Hannus & Hyönä, 1999; Mason et al., 2013b)。於本研究中，與圖相關的眼動指標，以及提示回溯性放聲思考的分析，有類似於過去研究之發現，亦有加上圖類型、不同閱讀能力等因素的不同發現。

本研究除了組織類與解釋類插圖，還加入了資訊量更高的表格類插圖，結果發現中學生理解表格類插圖的重要性，讀者的眼動型態反映他們在表格類插圖的再次凝視時間、總閱讀時間皆高於其他類的插圖。提示回溯性放聲思考中的資料亦佐證：學生於意譯文本 (具有解釋類和表格類的插圖) 中使用運用插圖訊息次數顯著高於音譯文本，呼應 Jian 等人 (2019) 研究指出相較於組織類插圖，

學生會放更多的注意力分配於解釋類的科學圖。以下將分別敘述不同閱讀能力的讀者處理科學圖的方式。

高閱讀能力的中學生會分辨圖的類型與資訊量多寡，並進行閱讀策略調整。支持的證據是，當遇到解釋類和表格類的插圖時，高能力讀者會花費較多的時間重讀這兩類的圖，且讀圖時間百分比也較低閱讀能力者高，呼應 Jian 等人（2019）研究發現，閱讀表現好的學生，閱讀插圖的時間也相對較長。此外，提示回溯性放聲思考中的資料也顯示：高閱讀能力中學生是唯一在意譯文本（具有解釋類和表格類的插圖）中有運用連結情節策略的組別，他們了解兩個插圖間具有高關聯程度的因果脈絡，因此兩張圖相互理解參照的次數也較其他組別多。而中閱讀能力的中學生也會分辨圖類型進而調整閱讀時間、讀圖時間百分比，以上數值皆與高閱讀能力組類似，但較不清楚圖間的關聯性。雖然四篇文本的圖片與圖片之間有強度不同的關聯性，但中能力組的圖間跳移次數在四篇文本上幾乎沒有差異。不過，中能力讀者清楚圖文間的關聯，因此在圖文關聯程度較高的無線充電和血型文本有較多的圖文跳移次數。至於低閱讀能力的學生，本研究發現他們平均讀每張圖的讀圖時間百分比顯著低於其他能力的學生，且放聲思考的口頭報告資料也顯示他們較少使用統整圖文訊息的閱讀策略。此外，低閱讀能力者不太能分辨文本圖間的因果脈絡的關聯程度，甚至可能誤解，如無線充電的圖間跳移次數最低，但該文本圖間的因果脈絡關聯程度高。

4. 不同閱讀能力的中學生運用閱讀層次與負向閱讀處理的情形

本研究發現，高閱讀能力學生善於運用閱讀策略，中閱讀能力學生次之，低閱讀能力學生則出現相對多的負向閱讀處理。整體來看，高閱讀能力組平均每人被主試者問一個問題會說出 1.83 個閱讀策略或歷程，顯著比低閱讀能力組平均 1.31 個來得多，而中閱讀能力組平均 1.59 個居中，如此可以得知，除以主試者所問的問題數後，高閱讀能力組使用閱讀策略或歷程的次數最高。以下將分別說明各閱讀能力組常使用之閱讀層次、閱讀策略與負向閱讀處理。

高閱讀能力的中學生，最常使用的閱讀層次為推論與整合（如，運用插圖訊息、整合圖文訊息），但事實上，三種閱讀層次的使用次數幾乎都佔三成左右，反映出高閱讀能力學生清楚推論與整合對於圖文閱讀的重要性，對於提取訊息的策略運用也不少，以便讓自己能夠獲得完整的文本資訊，並且會進一步使用比較評估，監控自身的閱讀情形，並適當調整閱讀策略，呼應吳訓生（2002）的研究，高閱讀能力學生會監控自己的理解狀況以調整因應。中閱讀能力的中學生，最常使用的閱讀層次為訊息提取（如，找重點、重讀），反映其在理解文本時，仍多是用提取訊息層次的策略，而負向閱讀處理的運用比例有近兩成，或多或少對其閱讀理解有所干擾。低閱讀能力的中學生，最常使用的則是負向閱讀處理（如，重點認知錯誤、不清楚閱讀目的），反映其進行負向閱讀處理的比例很高，如在非重點處花較多時間閱讀，或是對於自己的閱讀歷程不清楚，儘管也有運用閱讀策略，但也是以提取訊息為主，鮮少進入到推論與整合層次，張苑真與辜玉旻（2011）的研究有類似的發現，低閱讀能力學生則容易受限於段落中的文字，對文章理解產生偏移。

（三）研究貢獻與限制

本研究在研究與教學建議上有幾點貢獻：首先，本研究是在科學圖文閱讀眼動領域少數以中學生為對象的研究。中學生是進入學科閱讀非常重要的階段，但研究上對於中學生如何閱讀科學文章的認知歷程與策略了解的確十分有限。中學生的眼動資料相對大學生和小學生更不容易收集，中學生有升學考試的課程教學進度，且未成年需要家長簽署同意書，還需要把眼動儀搬至中學進行一段時間。這可能是國內外中學生的眼動研究都相當少的重要原因之一。此外，文獻上以提示回溯性放聲思考進行眼動閱讀研究都是以成人為研究參與者（Trevors et al., 2016; van Gog et al., 2005），缺乏年輕讀者的研究。本研究可能是國內外第一個以此方法進行在中學生讀者的研究，也因此能獲得讀者眼動型態的主觀解釋資料，而非只是藉由眼動資料間接推論讀者的閱讀歷程。而在與圖文閱讀理論的對話上，本研究的資料也支持 CTML（Mayer, 2005）和 ITPC（Schnotz & Bannert, 2003）的理論觀點：能成功地從文字和圖片的表徵解碼訊息，並將雙碼表徵所表示的訊息意義連結、組織在一起，並和先備知識整合在一起，是達成圖文閱讀理解的重要歷程。而本研究從不同閱讀能力學生

的眼動放聲思考資料所得的閱讀策略使用情形，更精緻化了 CTML 和 ITPC 的部分理論，特別是從這兩個理論題到先備知識或知識概念對文章處理與整合，亦即「由上而下」(top-down)的歷程影響。本研究資料發現「由上而下」的影響不僅有認知層面的因素，還包括讀者的後設認知，例如：高能力讀者會覺察當前用的閱讀策略能否幫助其達成閱讀理解，若未能達成此目的，會有較好的自我調節，較頻繁地改變閱讀策略以達成較好的閱讀理解。此外，本研究結果說明不同閱讀能力的中學生閱讀科學圖文會採用不同的閱讀策略，因此，教師可以檢視自己所教的學生是屬於何種閱讀能力的學生，並核對缺了哪些重要的閱讀策略(柯華葳等人，2017；Scheiter et al., 2018)，就可進行差異化的適性教學。例如，本研究資料顯示中閱讀能力的學生多運用提取文本訊息的策略(如重讀、找上下文訊息)，就可對此群學生進行推論與整合層次的閱讀策略教學，使其得以進行更深層面的閱讀學習；而本研究資料顯示低能力的中學生甚至有很多負向處理策略(如重點認知錯誤、不清楚閱讀目的)的情形，故針對低閱讀能力者，建議教學者進行較為基礎的閱讀教學。

至於研究限制上，也有幾點須注意。第一，本研究選擇了語意透明度較為極端的意譯與音譯的學術詞彙，但一般在科學領域中，有許多學術詞彙是為音意兼譯，建議後續研究可以針對語意透明度進行更細緻地深究，如設計高(意譯)、中(音意兼譯)、低(音譯)語意透明度的學術詞彙以比較中文學術詞彙辨識的歷程。第二，本研究實驗材料中的插圖訊息量並未控制。目前研究上，圖並未如字詞的研究可以計算頻率與長度等提供客觀的資料，以計算訊息量或難易度等。但未來或許可以利用專家效度評量等，先對圖的訊息量做評估與設計操弄。

參考文獻

- 十二年國民基本教育課程綱要總綱(2021年3月15日)修正公布。<https://edu.law.moe.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL002057> [Curriculum Guidelines of 12-Year Basic Education: General Guidelines. (2021, March 15). Amendment to Articles. <https://edu.law.moe.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL002057>]
- 王孜甯、簡郁苓(2022)：〈科學圖文閱讀眼動研究之系統回顧〉。《教育心理學報》，53，773-800。[Wang, T.-N., & Jian, Y.-C. (2022). A systematic review of eye-tracking studies on text-diagram science reading. *Bulletin of Educational Psychology*, 53, 773-800.] [https://doi.org/10.6251/BEP.202206_53\(4\).0001](https://doi.org/10.6251/BEP.202206_53(4).0001)
- 吳訓生(2002)：〈國小高、低閱讀理解能力學生閱讀理解策略之比較研究〉。《特殊教育學報》，16，65-104。[Wu, S.-S. (2002). A comparative study in the use of reading comprehension strategy by 5th grade students with low and high reading skills. *Journal of Special Education*, 16, 65-104.] <https://doi.org/10.6768/JSE.200209.0065>
- 林小慧、吳心楷(2019)：〈科學探究能力評量之標準設定與其效度檢核〉。《教育心理學報》，50，473-502。[Lin, H.-H., & Wu, H.-K. (2019). Validating the standard setting on multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities. *Bulletin of Educational Psychology*, 50, 473-502.] [https://doi.org/10.6251/BEP.201903_50\(3\).0005](https://doi.org/10.6251/BEP.201903_50(3).0005)
- 官英華(2020)：〈語音轉碼對臺灣大學生閱讀歷程的影響：來自眼動實驗的證據〉。《教育心理學報》，52，459-488。[Guan, Y.-H. (2020). The effects of phonological recoding on Taiwanese students' reading processes: Evidence from eye-tracking experiments. *Bulletin of Educational Psychology*, 52, 459-488.] [https://doi.org/10.6251/BEP.202012_52\(2\).0010](https://doi.org/10.6251/BEP.202012_52(2).0010)
- 洪國鈞、李姝慧、陳修元、周泰立(2010)：〈語意部件與關聯強度對成人與國小五年級孩童漢字

- 語意處理效應的差異〉。《中華心理學刊》，52，327–344。[Hung, K.-C., Lee, S.-H., Chen, S.-Y., & Chou, T.-L. (2010). Effects of semantic radical and semantic association on semantic processing of Chinese characters for adults and fifth graders. *Chinese Journal of Psychology, 52*, 327–344.] <https://doi.org/10.6129/CJP.2010.5203.06>
- 柯華葳、陳明蕾、游婷雅（2017）：〈掌握策略快樂閱讀〉。教育部國民及學前教育署。[Ko, H.-W., Chen, M.-L., & You, T.-Y. (2017). *Zhangwo celie kuaile yuedu*. K-12 Education Administration Ministry of Education.]
- 柯華葳、詹益綾（2007）：〈國民中學閱讀推理篩選測驗編製報告〉。《測驗學刊》，54，429–449。[Ko, H.-W., & Chan, Y.-L. (2007). Reading comprehension screening test for junior high school students. *Psychological Testing, 54*, 429–449.] <https://doi.org/10.7108/PT.200712.0429>
- 陳世文、楊文金（2008）：〈學生對科學教科書詞彙關係理解之分析〉。《教科書研究》，1（2），101–127。[Chen, S.-W., & Yang, W.-G. (2008). An analysis of student comprehension of lexicon relations in science textbooks. *Journal of Textbook Research, 1*(2), 101–127.] <https://doi.org/10.6481/JTR.200812.0101>
- 陳明蕾、柯華葳（2013）：〈學習障礙兒童線上閱讀歷程：來自眼球移動的證據〉。《特殊教育研究學刊》，38（3），81–103。[Chen, M.-L., & Ko, H.-W. (2013). Reading patterns of learning disability children during text reading: Evidence from eye movements. *Bulletin of Special Education, 38*(3), 81–103.] <https://doi.org/10.6172/BSE.201311.3803004>
- 連啟舜、陳弘輝、曾玉村（2016）：〈閱讀之摘要歷程探究〉。《教育心理學報》，48，133–158。[Lien, C.-S., Chen, H.-H., & Tzeng, Y.-H. (2016). Exploring the processes of summarization. *Bulletin of Educational Psychology, 48*, 133–158.] <https://doi.org/10.6251/BEP.20151124>
- 張苑真、辜玉旻（2011）：〈國小高、低閱讀能力學童圖文閱讀的理解策略〉。《臺北市立教育大學學報：教育類》，42（2），93–122。[Chang, W.-C., & Ku, Y.-M. (2011). Investigating the strategies used by high and low reading ability children while reading an illustrated text. *Journal of Taipei Municipal University of Education: Education, 42*(2), 93–122.] [https://doi.org/10.6336/JUTe/2011.42\(2\)4](https://doi.org/10.6336/JUTe/2011.42(2)4)
- 黃博聖、劉政宏、陳學志（2017）：〈不同結果狀態對正、負向回饋的注意與回憶效果〉。《教育心理學報》，48，469–486。[Huang, P.-S., Liu, C.-H., & Chen, H.-C. (2017). The influence of outcome status on the attending and memory of positive and negative feedback. *Bulletin of Educational Psychology, 48*, 469–486.] <https://doi.org/10.6251/BEP.20160315>
- 廖斌吟、楊文金（2017）：〈連接成分在科學教與學研究與實務課題之必要性〉。《科學教育月刊》，400，9–22。[Liao, P.-Y., & Yang, W.-G. (2017). The necessity of 'conjunction' for science education research and practical topics. *Science Education Monthly, 400*, 9–22.] [https://doi.org/10.6216/SEM.201707_\(400\).0001](https://doi.org/10.6216/SEM.201707_(400).0001)
- 鄭可萱、李松濤（2018）：〈當科學素養與閱讀素養相遇：高中學生科學新聞閱讀策略之實驗研究〉。《教育科學研究期刊》，63（4），157–192。[Zheng, K.-H., & Lee, S.-T. (2018). When science literacy and reading literacy meet: Experimental study of science news reading strategy

- for high school students. *Journal of Research in Education Sciences*, 63(4), 157–192.] [https://doi.org/10.6209/JORIES.201812_63\(4\).0006](https://doi.org/10.6209/JORIES.201812_63(4).0006)
- Andrews, S., Miller, B., & Rayner, K. (2004). Eye movements and morphological segmentation of compound words: There is a mouse in mousetrap. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 285–311. <https://doi.org/10.1080/09541440340000123>
- Brusnighan, S. M., & Folk, J. R. (2012). Combining contextual and morphemic cues is beneficial during incidental vocabulary acquisition: Semantic transparency in novel compound word processing. *Reading Research Quarterly*, 47, 172–190. <https://doi.org/10.1002/RRQ.015>
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and Instruction*, 20, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.014>
- Chen, M., & Chen, C. (2020). Do readers adjust their lower- and higher-level language skills according to text structures? Evidence from eye movements in Chinese text reading. *Journal of Research in Reading*, 43, 180–200. <https://doi.org/10.1111/1467-9817.12297>
- Guo, D., McTigue, E. M., Matthews, S. D., & Zimmer, W. (2020). The impact of visual displays on learning across the disciplines: A systematic review. *Educational Psychology Review*, 32, 627–656. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09523-3>
- Halliday, M. A., & Matthiessen, C. M. (2014). *An introduction to functional grammar*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203783771>
- Hannus, M., & Hyönä, J. (1999). Utilization of illustrations during learning of science textbook passages among low- and high-ability children. *Contemporary Educational Psychology*, 24, 95–123. <https://doi.org/10.1006/ceps.1998.0987>
- Hegarty, M., & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of Memory and Language*, 32, 717–742. <https://doi.org/10.1006/jmla.1993.1036>
- Jian, Y.-C. (2016). Fourth graders' cognitive processes and learning strategies for reading illustrated biology texts: Eye movement measurements. *Reading Research Quarterly*, 51, 93–109. <https://doi.org/10.1002/rrq.125>
- Jian, Y.-C. (2017). Eye-movement patterns and reader characteristics of students with good and poor performance when reading scientific text with diagrams. *Reading and Writing*, 30, 1447–1472. <https://doi.org/10.1007/s11145-017-9732-6>
- Jian, Y.-C. (2020). Teaching fourth-grade students of different reading abilities to read biological illustrations and integrate in-text information: An empirical experiment. *Research in Science Education*, 50, 2269–2282. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9778-8>
- Jian, Y.-C. (2021). The immediate and delayed effects of text-diagram reading instruction on reading comprehension and learning processes: Evidence from eye movements. *Reading and Writing*, 34, 727–752. <https://doi.org/10.1007/s11145-020-10089-3>
- Jian, Y.-C., Chen, M.-L., & Ko, H.-W. (2013). Context effects in processing of Chinese academic words: An eye-tracking investigation. *Reading Research Quarterly*, 48, 403–413. <https://doi.org/10.1002/rrq.56>

- Jian, Y.-C., & Ko, H.-W. (2014). Investigating the effects of background knowledge on Chinese word processing during text reading: Evidence from eye movements. *Journal of Research in Reading, 37*, S71–S86. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2012.01534.x>
- Jian, Y.-C., & Ko, H.-W. (2017). Influences of text difficulty and reading ability on learning illustrated science texts for children: An eye movement study. *Computers & Education, 113*, 263–279. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.06.002>
- Jian, Y.-C., Su, J.-H., & Hsiao, Y.-R. (2019). Differentiated processing strategies for science reading among sixth-grade students: Exploration of eye movements using cluster analysis. *Computers & Education, 142*, Article 103652. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103652>
- Lee, S.-H., Hung, K.-C., & Chou, T.-L. (2014). A longitudinal study of association strength and semantic transparency in semantic processing of Chinese characters in children. *Chinese Journal of Psychology, 56*, 1–11. <https://doi.org/10.6129/CJP.20130501>
- Levin, J. R. (1982). Pictures as prose-learning devices. In A. Flammer & W. Kintsch (Eds.), *Advances in psychology* (Vol. 8, pp. 412–444). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62709-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62709-0)
- Libben, G., Gibson, M., Yoon, Y. B., & Sandra, D. (2003). Compound fracture: The role of semantic transparency and morphological headedness. *Brain and Language, 84*, 50–64. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(02\)00520-5](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(02)00520-5)
- Mason, L., Pluchino, P., Tornatora, M. C., & Ariasi, N. (2013a). An eye-tracking study of learning from science text with concrete and abstract illustrations. *The Journal of Experimental Education, 81*, 356–384. <https://doi.org/10.1080/00220973.2012.727885>
- Mason, L., Tornatora, M. C., & Pluchino, P. (2013b). Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education, 60*, 95–109. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.011>
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press.
- McTigue, E. M., & Flowers, A. C. (2011). Science visual literacy: Learners' perceptions and knowledge of diagrams. *The Reading Teacher, 64*, 578–589. <https://doi.org/10.1598/RT.64.8.3>
- Or-Kan, S. (2016). Processing academic science reading texts through context effects: Evidence from eye movements. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education, 13*, 771–790. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00642a>
- Packard, J. L. (2000). *The morphology of Chinese: A linguistic and cognitive approach*. Cambridge University Press.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*, 372–422. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00642a>
- Scheiter, K., Schubert, C., & Schüler, A. (2018). Self-regulated learning from illustrated text: Eye movement modelling to support use and regulation of cognitive processes during learning from multimedia. *British Journal of Educational Psychology, 88*, 80–94. <https://doi.org/10.1111/bjep.12175>

- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction, 13*, 141–156. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8)
- Schnotz, W., Ludewig, U., Ullrich, M., Horz, H., McElvany, N., & Baumert, J. (2014). Strategy shifts during learning from texts and pictures. *Journal of Educational Psychology, 106*, 974–989. <https://doi.org/10.1037/a0037054>
- Snow, C. (2002). *Reading for understanding: Toward an R&D program in reading comprehension*. Rand Corporation.
- Stieff, M., Hegarty, M., & Deslongchamps, G. (2011). Identifying representational competence with multi-representational displays. *Cognition and Instruction, 29*, 123–145. <https://doi.org/10.1080/07370008.2010.507318>
- Trevors, G., Feyzi-Behnagh, R., Azevedo, R., & Bouchet, F. (2016). Self-regulated learning processes vary as a function of epistemic beliefs and contexts: Mixed method evidence from eye tracking and concurrent and retrospective reports. *Learning and Instruction, 42*, 31–46. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.11.003>
- van Gog, T., Paas, F., van Merriënboer, J. J. G., & Witte, P. (2005). Uncovering the problem-solving process: Cued retrospective reporting versus concurrent and retrospective reporting. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 11*, 237–244. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.11.4.237>
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Open University Press.
- Wu, C.-J., Liu, C.-Y., Yang, C.-H., & Wu, C.-Y. (2021). Children's reading performances in illustrated science texts: Comprehension, eye movements, and interpretation of arrow symbols. *International Journal of Science Education, 43*, 105–127. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1858515>

收稿日期：2021年07月22日

一稿修訂日期：2021年07月23日

二稿修訂日期：2021年09月15日

三稿修訂日期：2021年09月24日

四稿修訂日期：2021年09月26日

接受刊登日期：2021年09月27日

Bulletin of Educational Psychology, 2022, 53(4), 949–978
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R. O. C.

Processing Strategies for Reading Illustrated Scientific Texts and Chinese Academic Words with Different Degrees of Semantic Transparency among Middle-School Students: An Eye-Tracking Study

Pin-Hsien Kuo

Yu-Cin Jian

Department of Educational Psychology and Counseling,
National Taiwan Normal University

Scientific texts are texts with multiple representations (texts and diagrams) containing specific narrative styles, signal representations in pictures, and difficult academic words. Students may struggle with scientific texts—whether through having weak reading ability, over-focusing on text, or ignoring scientific pictures—as well as with graphic comparison and integration strategies. Therefore, students often face difficulties in understanding scientific texts. In particular, academic words are translated using different translation methods (such as paraphrasing and transliteration), and the understanding of academic words may be affected by semantic transparency. The application of eye-tracking technology is suitable for exploring how middle-school students read such content. Few eye movement studies have focused on academic words, with most exploring the cognitive process of adult readers recognizing academic words when reading plain text. Therefore, understanding how middle-school students read scientific texts containing academic words is a crucial topic.

This study used eye tracking to explore the cognitive processes and strategies of seventh-grade students with different reading abilities as they read illustrated scientific texts as well as to examine how readers cope with academic words with high (paraphrase) and low (transliteration) semantic transparency. The three specific research questions were as follows:

a. When seventh-grade students with different reading abilities read scientific texts with different levels of semantic transparency (paraphrased or transliterated text), is any difference observable in memory and comprehension performance? (Assessed through free recall and reading comprehension tests).

b. How do seventh-grade students with different reading abilities recognize academic words with different levels of semantic transparency (paraphrased or transliterated words)? What information can be used to assist their understanding? (Based on academic words as the unit of analysis and analyzing eye movement patterns).

c. On the basis of the analysis of eye movement patterns and cued retrospective think-aloud (CRTA), what strategies do seventh-grade students with different reading abilities adopt when reading illustrated scientific texts?

Participants. Seventh-grade students ($N = 65$) were divided into groups based on their reading ability through a pretest. The high, middle, and low reading ability groups comprised 23, 22, and 20 students, respectively. The average age was 13.12 years ($SD = 0.27$), and all study participants were native Chinese speakers with normal or corrected vision.

Materials. We designed four illustrated scientific texts by manipulating academic words (paraphrase and transliteration). Each text was presented on a single page, with the text placed on the left and two colorful pictures on the right. The number of texts related to physics, chemistry, and biology themes, and the number of characters and words in each text were evenly

matched. Academic words were all low-frequency, and word length was consistent. Three types of diagrams were used, namely organizational and interpretational diagrams and tables. The paragraphs and illustrations of the four texts all had causal contexts. Texts on wireless charging and blood type had high causal connections, whereas texts on radar and penicillin had moderate causal connections. In terms of reading order, accounting for the order of experimental processing, a counterbalance design was implemented.

Apparatus. We used the EyeLink Portable Duo (SR Research Ltd., Ottawa, Canada) eye tracker with a sampling rate of 1000 Hz. A fixed chin rest was employed to minimize head movement and perform eye movement correction. If the average error of the gaze position was less than 0.5° , the angle of view did not require correction.

Procedure. The research procedure was divided into two stages, namely the pretest and eye movement experiments. The pretest consisted of an academic word familiarity questionnaire and standardized test of reading ability. In the eye movement experiment, relevant guidelines were first displayed on the screen to remind participants of the experimental procedure and precautions, and then the participants were requested to read the practice text to familiarize themselves with the experimental procedure. A 3-min reading time was set for each official text. After the participants had read the text, the text test was complete. After the experiment, the examiner asked the participants to perform free recall and played the participants' own eye-tracking video to prompt CRTA.

Overall strategy use during reading was analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), and use of substrategies was analyzed using two-way ANOVA. Reading ability was the between-subjects variable, and word type (paraphrase or transliteration), diagram type (organizational diagram, interpretational diagram, or table), or text theme (four texts) were the within-subjects variables. The dependent variable was the performance of reading the texts or multiple eye movement indicators. The CRTA interview data were used to examine the connection between the three reading ability levels and usage of 17 substrategies, thus revealing whether seventh-grade students with different reading abilities apply different reading strategies to read illustrated scientific texts. The following are the explanations of the research results from post-test performance, eye movement indicators, and CRTA interview data:

a. Reading comprehension and free recall: The students with high reading ability outperformed students with middle and low reading abilities in reading comprehension and free recall. The students' free recall score for the paraphrased version was significantly higher than that for the transliterated version.

b. Eye movement (academic words): The students adjusted their reading strategies according to the semantic transparency of academic words. The gaze duration for transliterated academic words was significantly higher than that for paraphrased academic words, indicating that transliterated academic words require longer to decode. The students relied on text messages for scientific reading, and the number of references to sentences in texts was significantly higher than that to scientific diagrams.

c. Eye movement (illustrated scientific texts): The high-ability group decoded words more rapidly than the middle-ability and low-ability groups. The mean fixation duration of the high-ability group was significantly shorter than that of the low-ability group. Furthermore, the students realized the critical role of the table, because the revisited fixation duration, total fixation duration, and proportion of fixation duration for the table were significantly longer than those for the other types of diagrams. Students with different reading abilities exhibited differences in processing various types of diagrams. The high-ability group devoted more time to analyzing and reanalyzing the diagrams and recognized the causal context with a high correlation between the two diagrams in the wireless charging text and blood type text. The middle-ability group recognized the correlation between the diagrams and texts, and therefore, for the wireless charging and blood type texts (high diagram-text association), the number of saccades between text and diagrams were both relatively high. The proportion of fixation duration for reading pictures in the low-ability group was significantly lower than that in the middle-ability and high-ability groups, and the low-ability students were unable to distinguish the correlation between the two diagrams.

d. In terms of the three reading levels, the high-ability group used the overall strategy significantly more than the low-ability group. For the 17 substrategies, the high-ability group exhibited the highest usage of illustrated information and integrated graphic information; the low-ability group exhibited the most frequent usage of key cognitive errors and unclear reading goals.

Studies of eye movement during reading with CRTA have been mostly conducted on adult research participants (Trevors, 2016; van Gog et al., 2005), with a distinct lack of research on young readers. This study may be the first to focus on analyzing the reading of illustrated scientific texts by middle-school students using this approach. In this study, obtaining the subjective

interpretation data of the eye movement pattern of the reader, rather than indirectly inferring the reader's reading process through eye movement data, assisted in deepening our understanding of the reading process. In terms of the interpretation of academic words, the results revealed that middle-school students, similar to adult readers, devote more time to decoding academic words in the initial processing stage of reading (Jian & Ko, 2014). This study also supports the theoretical views of cognitive theory of multimedia learning (CTML) (Mayer, 2005) and ITPC (Schnotz & Bannert, 2003). Representations of text and diagrams link and organize the meaning of the messages through dual-code representation, integrating the presented information with an individual's prior knowledge. This is an essential step in the process for achieving the comprehension of diagrams and texts. The CRTA data revealed that high-ability students often use inference and integrated reading strategies (such as the use of illustrated information, integrated texts, and diagrams) to correctly identify the type of picture and amount of information and adjust their reading strategy accordingly. The middle-ability students often used information extraction strategies (such as finding key points and rereading), whereas the low-ability students often used negative reading processing methods (such as misunderstanding key points and unclear reading purposes); the low-ability students' methods increased the difficulty of learning and understanding effectively when reading popular scientific texts.

In this study, we selected academic words for paraphrasing and transliteration. Future studies could conduct in-depth research on semantic transparency, such as designing academic words with high (paraphrase), medium (phonetic-meaning translation), and low (transliteration) semantic transparency to further compare the process of Chinese academic word recognition. Moreover, the amount of information in the illustrations of the experimental materials of this study was not controlled. In the future, expert validity evaluation, among others approaches, can be applied to evaluate and design the manipulation of the information content of the illustrations.

Keywords: semantic transparency, academic words, illustrated scientific text, eye tracking, reading strategy

