

超越紙筆之外—— 談科學教育之評量

文／林煥祥

培養具有科學素養的公民是科學教育的重要目標之一。雖然科學素養的定義甚為廣泛且多樣化，其中廣為接受的內涵包括：科學知識概念的理解與應用、科學能力的培養與提升、科學學習的興趣及感受的正向態度。本文檢視近年來我國科學教育的評量，在上述科學素養的重要內涵所獲得之結果，並進一步由評量的多樣化討論未來值得科學教育工作者重視的面向。文末建議我們（學生、科學教師、家長、教育行政人員、政策制定者）如何藉由評量反思，並積極提升全民科學素養。

緒論

生活在現代社會的公民，凡是個人健康維持（例如：食品添加物的了解、病毒的傳染、奈米標靶治療）；社區生活環境品質（例如：空氣中細懸浮微粒 PM2.5 濃度、核廢料的處置）；全球環境變化（例如：溫室效應、氣候變遷）等都與科學息息相關。因此世界各先進國家無不積極致力於全民科學素養的提升，讓人民面對與科學相關的事件時，能夠做出明智的抉擇。雖然「科學素養」的定義甚為廣泛且多樣化，其中廣為科學教育社群接受的內涵包括：科學知識概念的理解與應用、科學能力（science competencies）的培養與提升、科學學習的興趣及科學參與的正向態度。

經濟合作發展組織（Organisation for Economic Cooperation and Development，簡稱 OECD）有鑑於現代公民兼具閱讀素養、數學素養、科學素養的重要性，遂自

2000 年起創辦 Programme for International Student Assessment（簡稱 PISA），針對年滿 15 歲在學的學生，評量他們是否已經準備妥當成為具有良好素養且能積極貢獻於社會的公民。PISA 評量的特色在於試題的「情境化」及「能力導向」。換言之，其試題題幹內容的敘述詳盡且與日常生活情境相關。學生在受測過程當中必須整合「科學概念知識」及「科學能力」分析內容進行解題。上述科學素養的內涵之中，由近幾年來國際大型評量的結果可以看出，我國學生在「科學知識概念的瞭解與應用」方面表現優異。然而「科學能力的培養與提升」以及「科學學習興趣及感受」的正向態度方面，還有些許進步的空間。

由於篇幅所限，本章針對「科學能力」的評量舉例加以說明，並呈現我國學生「科學學習興趣及感受」的表現，且討論上述各變項之間的相關性。期待能夠提醒讀者：學習成效之評量不應僅著重機械式記

憶性的「科學概念知識」評量，而應強調「科學能力」與知識概念的整合、應用於各種不同的情境之中，進行解決問題。另外，「科學學習興趣及感受」的培養與追蹤評量更應加以重視。

何謂科學能力？

經由焦點團體專家學者的諮詢與討論，PISA 2006 年定義科學素養所須具備的三項科學能力分別為：(1) 形成科學議題(identify scientific issues) ——學生能夠從所提供的訊息之中，擬訂可以透過科學方法解決的研究問題；(2) 解釋科學現象(explain phenomena scientifically) ——對於生活中常見的現象，以科學概念或原理解釋其原因；(3) 科學舉證(use scientific evidences) ——利用科學證據支持本身的主張或論點(OECD, 2006)。事隔九年之後，PISA 2015 再次以科學素養為評量之主軸。對於上述三項科學能力的「形成科學議題」及

「科學舉證」做了小幅度的調整。由表 1 中可以看出「形成科學議題」的能力進一步延伸到「評估及設計科學探究」(evaluate and design scientific enquiry)。強調學生不僅能夠辨識那些問題可以透過科學方法收集證據加以回答，更應能夠設計實驗步驟，控制及操弄相關變因，收集證據並解答問題。另外也必須能夠評估他人所提出的探究步驟是否合宜。另一個修正的科學能力「解釋科學現象」則更明確地指出「數據與證據」的重要性而成為「解讀科學數據與舉證科學證據」(interpret data and evidence scientifically) (OECD, 2013)。這樣的修正也呼應了 PISA 會議之中經常強調的一句話：“Without evidence, you are just another person with an opinion”。這句話提醒大家，在民主社會的各項討論、會議、或論證過程當中，雖然每個人的意見都應受到尊重，然而，具有數據及證據導向的主張或論述才會更具說服力。

表 1 PISA 2006 與 2015 所評量的科學能力

PISA 2006		PISA 2015	
1	解釋科學現象 (Explain phenomena scientifically)	1	解釋科學現象 (Explain phenomena scientifically)
2	形成科學議題 (Identify scientific issues)	2	評估與設計科學探究 (Evaluate and design scientific enquiry)
3	科學舉證 (Use scientific evidence)	3	解讀科學數據與舉證科學證據 (Interpret data and evidence scientifically)

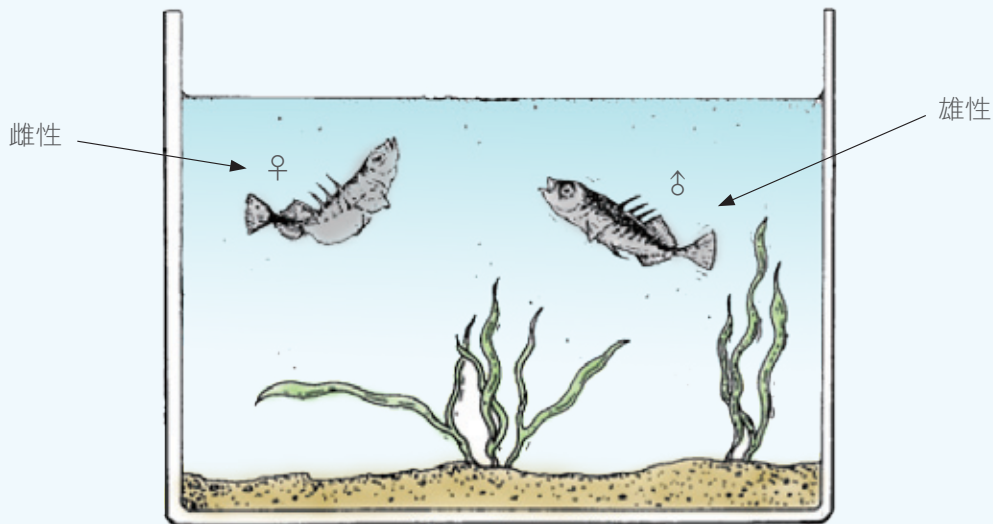
科學能力如何評量？

前曾提及，PISA 評量的特色為「情境化」及「能力導向」。試題的內容都是學生日常生活中的情境所可能發生的問題。作答者必須應用相關的科學概念知識，結合

所需之科學能力，才能適當的回答問題。而且試題都以題組方式呈現，每一題組包括 3～5 小題，各小題的題型可能是選擇題、開放式問答題，或是組合型的是非題。茲舉一例題如下，說明其題幹敘述、題型及計分方式。

科學 5 刺魚的行為

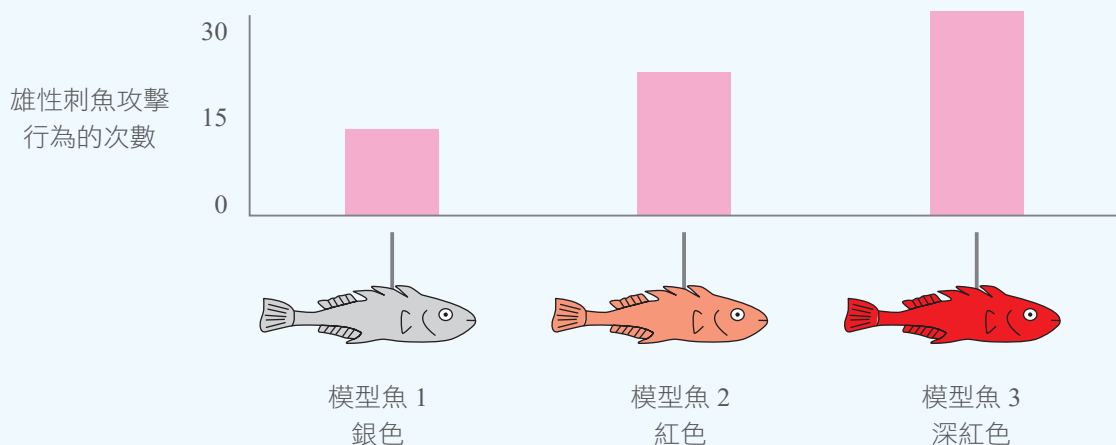
刺魚是一種容易在魚缸中生存的魚類。



- 於生育季節期間，雄性刺魚腹部會由銀色轉成紅色。
- 雄性刺魚會攻擊進入自己領土的其他任一隻雄性魚。
- 如果一隻銀色雌性魚接近，他會試著帶她進入自己的巢，以便產卵。

在實驗中，一位學生想要觀察雄性刺魚如何表現出好鬥的行為。學生將一尾雄性刺魚單獨放在魚缸中，並製作三尾穿有金屬線的蠟像模型魚。他將這三尾假魚分別掛置於魚缸中等長的時間。然後，學生記錄雄性刺魚對於蠟像模型魚做出攻擊行為的次數。

這個實驗的結果如下：



問題 5.1

這個實驗是要嘗試著回答什麼樣的問題？

.....

.....

.....

評分**滿分**

代號 1：什麼顏色的魚可以引起雄性刺魚的強烈攻擊行為？

- 雄性刺魚對紅色模型魚比銀色模型魚更會反攻嗎？
- 魚的顏色和攻擊行為之間有關係嗎？
- 魚的顏色會讓雄性魚產生攻擊性嗎？
- 刺魚發現什麼顏色的魚最具脅迫？

零分

代號 0：其他回答（包含所有不涉及魚（模型）（顏色）的回答）

- 雄性刺魚會對什麼顏色引起攻擊行為？（沒有比較體）
- 雌性魚的顏色決定雄性魚的攻擊性嗎？（第一個實驗沒有涉及有關魚的性別）
- 雄性刺魚對哪一個模型最具攻擊性？（必須具體地說明模型魚的顏色）

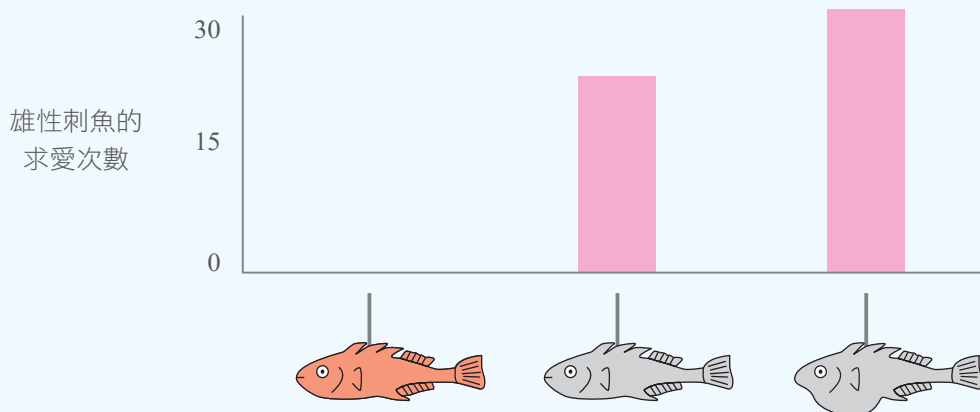
代號 9：沒有回答

問題 5.2

在生育期間，雄性刺魚見到雌性刺魚會試著吸引她，而這求愛的行為看起來就像在跳舞一樣。在第二個實驗中，要觀察求愛行為。

同樣的，使用三尾穿有金屬線的蠟像模型魚。一尾為紅色；二尾為銀色，其中一尾有平坦的腹部，另一尾有圓凸的腹部。學生計數雄性刺魚對每尾模型魚做出求愛反應的次數。

這個實驗結果如下：



- 三個學生分別針對這個實驗做出結論。
- 依據圖表中給的資料，請問他們的結論是否正確？
- 請在每一個欄中圈出「是」或「否」。

依據圖表中給的資料，請問他們的結論是否正確？	是	否
雄性刺魚對紅色模型魚產生求愛的行為。	是	否
雄性刺魚對腹部平坦雌魚最具求愛行為。	是	否
雄性刺魚表現出對腹部圓凸雌魚比對腹部平坦雌魚較具有求愛行為。	是	否

評分

滿分

代號 1：全部三個答案皆正確；答案依次序為「否，否，是」

零分

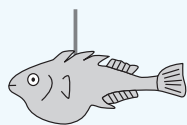
代號 0：其他回答

代號 9：沒有作答

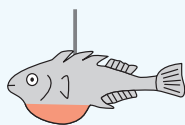
問題 5.3

實驗顯示雄性刺魚對於紅色腹部的模型魚有攻擊行為的反應，對銀色腹部的模型魚有求愛行為的反應。

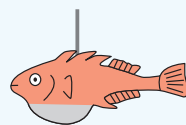
在第三個實驗，下列四尾模型魚依次被實驗。



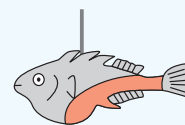
模型魚 1



模型魚 2




模型魚 3

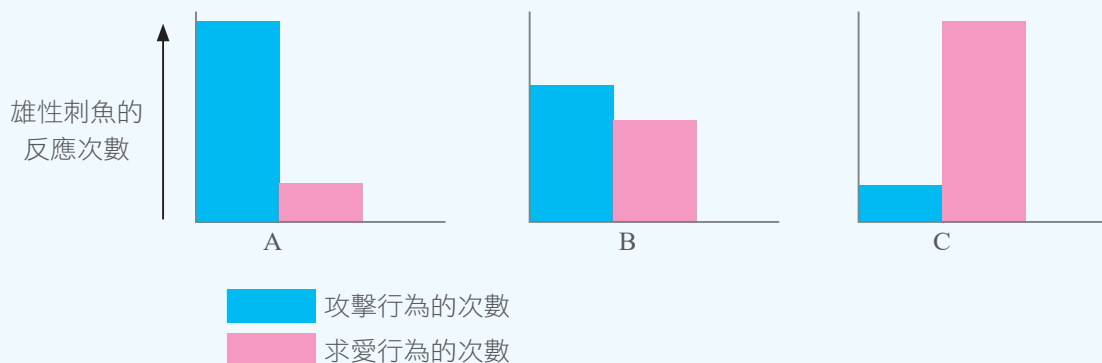


模型魚 4

 紅色

 銀色

下面三個圖表表示雄性刺魚對上面每尾模型魚的可能反應。



預估四尾模型魚的反應可分別用哪一個圖表來代表？

於每尾模型魚中填入 A, B 或 C (僅可擇一)

	反應
模型魚 1	
模型魚 2	
模型魚 3	
模型魚 4	

評分

滿分

代號 2：全部四個答案皆正確；答案依次序為「C, A, C, B」

部分給分

代號 1：四個之中有三個答對

零分

代號 0：其他回答

代號 9：沒有作答

我國學生科學能力的表現

PISA 對於學生科學能力的測驗成績，首先將所有參與學生的原始分數計算出平均值，並將此平均值分數設定為 500 分，每個標準差為 100 分的方式呈現個別學生之得分。我國學生第一次參加 PISA 2006，科學能力的平均成績為 532 分（如圖 1 所示），在 57 個參與國家之中排名第四；PISA 2009 我國學生的科學能力平均得分為 520 分，在 65 個參與國家中排名第

12；PISA 2012 的科學能力評量我國學生平均成績雖然稍微進步 3 分（523 分），名次在 65 個參與國家之中則排名第 13。由上述的分數可以看出，我國學生的科學能力表現在六年內平均成績退步 9 分，國際排名則由第四名退居第 13 名。可能的原因是有些國家針對評量結果在課程及教學方面採取積極改進措施，導致顯著的進步。相較之下，在這六年期間我國並未在中學階段的科學課程及科學教學進行大幅度或全國性的應變措施。

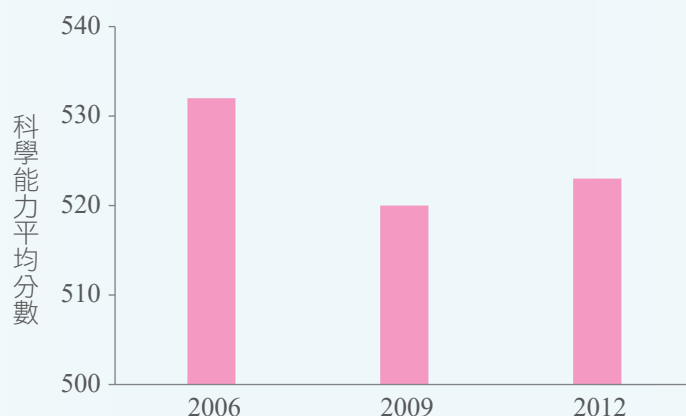


圖 1. PISA 2006, 2009, 2012 我國學生科學能力表現

我國學生科學學習興趣與感受

研究指出科學學習的情意變項如科學學習興趣 (interests in learning science)、快樂指數 (enjoyment of learning science) 等與學習成效息息相關。學習感受如自我效能 (self-efficacy) (對於執行與科學相關的學習活動之信心) 及自我概念 (self-concept) (對於以往的科學學習經驗之感受), 也與學習成效顯著相關 (Lin, Hong, & Huang, 2012; Lin, Lawrenz, Lin, & Hong, 2013)。從我國學生參與 PISA 2006 的成果報告也可看出, 科學學習興趣、快樂指數、自我效能、自我概念愈高, 則科學能力的表現愈佳。上述研究之中 Lin 等人更

指出, 如果學生於求學階段對科學的學習興趣與感受較為正向, 畢業之後也較有興趣及意願持續從事科學相關之學習活動。

我國學生在 PISA 2006 的評量結果顯示, 雖然科學學習興趣、快樂指數、自我效能、自我概念等皆呈現正向; 不過仍然還有些許進步空間。以上四個變項的評量皆以四等第的李克氏量表在學生問卷中讓學生自由作答, 其評量工具在 PISA 的技術報告中也具有良好的信度與效度。由圖 2 所呈現的平均值可以看出, 我國學生的科學自我效能平均 2.89, 在四個變項中表現最佳。其次依序為科學學習快樂指數 (平均 2.75)、科學學習興趣 (平均 2.57)、科學自我概念 (平均 2.31)。

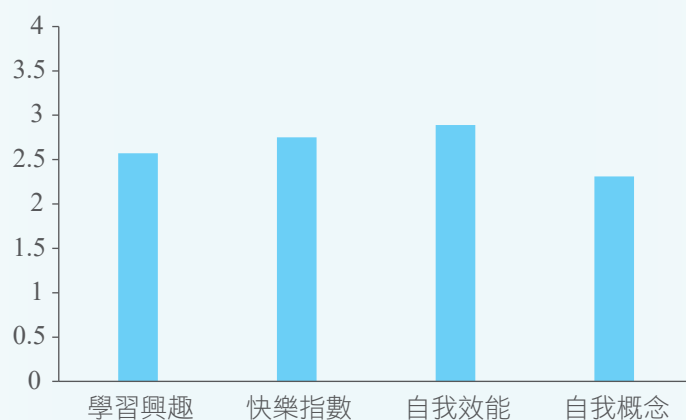


圖 2. 我國學生的科學學習興趣與感受平均分數

科學教育評量結果的啟示

本文以 PISA 2006 科學素養評量中的重要指標項目—科學能力、科學學習的興趣及感受為例，說明科學教育評量的方法，並呈現我國學生的表現。雖然 PISA 的科學素養評量或許有其限制或缺點，不過其「情境式生活化」的「科學能力」評量方式，的確甚具創意。因此，自 2000 年創辦以來，參加的國家由 43 國，到 2015 年已有 71 國參與。我國自 2006 年第一次參加，PISA 2015 的評量再次以科學素養為評量主軸，評量結果將於 2016 年年底全世界同步公布，其結果不但值得期待，也可以提供我們自我檢視與比較九年來我國中學科學教育的發展趨勢。

我國學生科學能力的表現雖然在 2006 年的評量結果世界排名第四，可惜的是在課程、教學方面並未針對不足之處進行大規模的改革，以致分數及世界排名均稍下滑。另外學生在科學學習興趣、快樂指數、自我效能、自我概念方面也有進步的空間。如果科學教育行政人員、科學教師、家長、學生、專家學者能針對評量結果加以反思，積極落實課程及教學的改革，尤其在全國性的國中會考、學科能力測驗、大學指定科目考試中著重「情境式能力導向」的評量，相信在課程、教學、與評量相輔相成的配合之下，我國科學教育的卓越成果指日可待。📌

參考文獻

1. Lin, H., Hong, Z., & Huang, T. (2012). The role of emotional factors in building public scientific literacy and engagement with science. *International Journal of Science Education*, 34(1), 25-42.
2. Lin, H., Lawrenz, F., Lin, S., & Hong, Z. (2013). Relationships among affective factors and preferred engagement in science-related activities. *Public Understanding of Science*, 22(8), 941-954.
3. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy - A framework for PISA 2006*. Paris, FR: Author.
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2013). *PISA 2015 draft science framework*. Paris, FR: Author.

林煥祥

國立中山大學講座教授