



# 科學探究中的“不科學”

蘇詠梅<sup>[1]</sup>、鍾媚<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup> 香港教育學院  
香港 新界 大埔 露坪路十號  
電郵：[wiso@ied.edu.hk](mailto:wiso@ied.edu.hk)

<sup>[2]</sup> 佛山科學技術學院  
佛山市禪城區江灣一路 18 號  
電郵：[mmzhong@126.com](mailto:mmzhong@126.com)

收稿日期：二零一零年四月廿三日（於六月二日再修定）

---

## 內容

- [摘要](#)
  - [引言](#)
  - [科學本質與科學探究](#)
  - [研究背景](#)
  - [資料分析](#)
  - [研究結果](#)
  - [\(一\) 計劃和設計階段](#)
  - [\(二\) 開展探究過程階段](#)
  - [\(三\) 解釋探究結果階段](#)
  - [研究啓示與建議](#)
  - [參考文獻](#)
- 

## 摘要

通過科學探究促進學生對科學本質的理解，培養學生的科學思維能力，是當前科學課程改革的重要議題。本文以香港一項大型科學探究項目的小學生探究計劃和報告作為基本材料，剖析學生在進行科學探究方面的認知困難。研究發現，雖然學生經歷了完整的科學探究過程，卻不一定能內化科學的思維方式，反之出現了情難自控、面面俱到、為做而做、依葫蘆畫瓢、隨心所欲、牽強附會、移花接木等現象。因此，我們建議教師在以



下各方面幫助學生，例如加強對探究類型的認識，重視證據概念的理解，鼓勵辯護論證等方法來提昇學生科學探究的能力。

**關鍵字：**科學探究；科學本質；科學思維

## 引言

期望學生通過科學學習內化科學精神，認識和理解科學的本質，一向都是科學教育工作者們關心的問題。進入二十一世紀，面對資訊超載的挑戰，人們更需要科學的思維習慣。科學探究，作為一種引領學生親歷自然及科學世界的活動方式，受到了更多的關注。「我做了，於是我理解了」成為人們期望通過科學探究增進學生對科學本質認識的願景。然而，很多情況是學生經歷了探究過程，卻沒有形成“科學”的想法。相反，「不科學」想法頻頻出現。本文通過小學生參與科學探究活動所做的書面報告進行分析，探討小學生在科學探究過程中存在的認識偏差。

## 科學本質與科學探究

從二十世紀八十年代開始，不少研究探討了學生對自然世界持有的看法(ideas about natural world)，如物質、力、光合作用等等。與此同時，我們也瞭解到關於什麼是學生可以或不可以解釋，以及怎麼樣才算一種科學解釋的想法。換句話說，學生已經有一些發展著的關於科學本質的認識(ideas about science)。很多情況下，學生對觀察到的事實的反應以及產生的想法，會受到他們對科學本質認識的限制。例如，如果學生認為科學實驗只要遵循的步驟就能獲得正確的結果，那麼他們就會集中注意力於仔細收集資料的過程上，而較少去思考資料本身的意義(Hodson, 1998)。又如，如果學生假定科學知識可以直接從資料中「浮現」出來，他們就會把科學解釋等同於關於既定變數的結果描述，而不是綜合評價各種理論主張的結果(Leach, 1998)。由此看來，如何增進學生對科學本質的認識，是提高科學教學與學習的一個重要元素。

從二十世紀九十年代末開始，為增進學生對科學本質的理解，提高學生的探究技能，世界各國紛紛把科學探究作為一種重要的教學策略納入課程改革綱要。科學探究成為了人們期望通過做中學領悟科學本質的教學方式。在現今的課堂教學中，活動和實驗逐漸替代了原有的教師講解，學生有了更多的機會參與實踐活動。然而，是否經歷了科學探究的過程，學生就可以內化科學的思維方式？近年來，不少研究表明，藉科學探究活動、科學過程技能、動手做等方式，將科學本質的觀念嵌入教學中，透過活動以間接的(implicit)方式讓學生體驗科學本質的教學模式，並不能充分地讓學生理解科學(Duschl, 2000)。在開展探究之前，學生往往忽略對問題的分析及探究設計的環節，即便提出了假設或實驗設計，但並不理解假設或實驗在科學探究中的作用(Rop, 2002)。在探究過程中，很少學生將重複觀察或測量作為實驗的必要工作，也不會記錄測量資料以外的現象(Lubben & Millar, 1996)。在結果分析方面，當對資料與現象之間的關係認識不清時，學生一般會根據自己的已有經驗強加判斷，套上規律或結論(Kanari & Millar, 2004)。這



些研究顯示，雖然學生做了實驗，手動起來了，但對於科學結論是怎樣產生的，科學探究是怎樣的一個過程缺乏基本認識，由此也出現了各種似是而非的想法和做法。

以上的研究主要對象是西方國家的學生，缺乏對東方學生關於科學本質理解的本土性認識。本研究希望通過歸納真實情境下小學生在探究過程中的「不科學」思維，剖析小學生在進行科學探究的認知困難，為科學課程和探究教學設計提供建議與參考。

## 研究背景

在香港，有組織及系統化地推動小學科學探究始於 1998 年，由當年的香港教育學院科學系和香港教育署聯手舉辦。近幾年，香港科學館、香港教育城、香港數理教育學會、行政長官卓越教學獎教師協會也逐漸加入成為主要的舉辦機構。這項科學探究項目旨在培養學生對身邊世界的好奇心和感受力，提高學生的科學探究能力及其他方面的能力，如問題解決及溝通。參與活動的小學生年約十至十二歲，需要以小組形式進行科學性探究專題工作。從 2006 年開始，隨著活動的影響力的不斷擴大，澳門和珠江三角洲地區的廣州、東莞、中山等市區學校亦積極參與，此項目已經發展成為粵港澳地區一項具有重要影響力的科學探究活動。

參與這個項目的學生從最初提交探究計，開展探究活動，到最終完成探究報告歷時差不多半年。學校教師是學生探究工作的主要支援者。但是，從教師在活動的意見書中我們得知教師們本身對科學探究認知不多，在輔助學生進行有效的探究過程感到困難，未能針對性地看出及指出學生在科學探究工作上的迷思。我們期望透過分析學生的探究成果，讓教師和學生們認識他們在探究工作中可以進一步改善的地方。

## 資料分析

在分析學生如何進行觀察、假設和策劃，Harlen (2000)認為這些探究過程技巧的證據不需要在現場收集，透過學生的書面工作很多時候能提供有用的資訊。本研究以 26 份獲得「傑出」的專題探究中學生提交的探究計劃和探究報告書，及學生們的口頭匯報，分析學生在科學探究過程的「不科學」想法。這個方法的優點是按學生的書面記錄探究過程和成果作依據來進行分析，限制是欠缺學生的訪問，未能再深入了解學生的不科學想法及其背後涉及的各種因素。分析框架參考 Duggan & Gott (2000)認為對科學教育最相關的技巧，包括：設計 (design)、測量 (measurement)、資料處理 (data handling)，及 Chin (2003)提出的 5P1I2R，包括：確認問題 (problem definition)、已有知識 (prior knowledge)、預測 (predictions)、計劃 (plan)、程式 (procedure)、調查 (investigation)、結果 (results)、反思 (reflection)。為分析更簡明，我們重組兩份資料，得出以下三個過程階段的分析框架。



## 1. 計劃和設計

- 是否有一個明確的探究方向？
- 是否有提出可探究性問題或作出合理的預測？
- 能否針對不同的探究以找出相對應的探究項目？

## 2. 開展探究過程

- 能否針對不同的探究活動選擇合適的方法和技術收集證據資料？
- 能否展示對相關變數的理解和使用公平測試？
- 是否有能力正確使用測量手段和工具以獲得有意義的資料？

## 3. 解釋探究結果

- 能否正確分析資料以得出結論？
- 所得出的結論是否與測試資料相吻合， 是否有回答探究問題？
- 在處理與理論或預測不一致的資料時， 是否有重複探究過程或者修改探究設計去進一步核實資料？

# 研究結果

從分析來看，在計劃和設計階段，有 8 個探究出現不科學的想法，主要是「情難自控」和「面面俱到」；在開展探究過程階段，有 15 個探究出現「為做而做」、「依葫蘆畫瓢」、「隨心所欲」的不科學性思維；在解釋探究結果階段，有 9 個探究存在「牽強附會」和「移花接木」的不科學性思維。以下就各部分選取兩到三個較典型的例子作詳細的分析討論。

### (一) 計劃和設計階段

#### 1. 情難自控

在開展探究之初，學生往往容易急於進入主題，缺少對探究內容的有效分析，以致難以將意念轉化為可探究的調查或設計。

在一個探究計劃書中，學生提出改善市區的通風情況和空氣品質，減低屏風樓效應的影響，其中的探究設計有兩項內容：用電燈泡類比提升空氣溫度，看看是否會對地下通風管道的空氣對流產生影響；看看哪種材料最適合隔離空氣污染物。雖然學生在探究目的上描述了屏風樓效應，但是卻提出了一些與探究意圖不相吻合的問題，例如將屏風樓效與地下通風管道相聯繫等。另一個探究計劃是通過實地觀察找出哪裡是最佳的住宅區綠



化位置。然而，如何定義「最佳」綠化位置是一個很複雜的問題，涉及主觀審美等因素，單憑觀察不可能得出結論。

在設計探究階段，提出富有成效的問題可以聚焦和引導學生的思維活動 (Chin, Brown & Bruce, 2002)。由於學生對科學探究缺乏認識，在探究之初往往提出無需探究的資訊問題，或者難以探究的複雜問題，甚至無法探究的哲學宗教問題 (Chin & Kayalvizhi, 2002)。假若學生在探究內容進行初步分析，結合科學探究的類型特點，如公平測試是探究某事物是怎樣影響另一事物的，問題解決是探究如何應用已有知識解決某一問題，則可以將探究意念具體化為一系列可探究的問題。為此，在屏風樓效應的探究中，學生可以通過樓宇模型展開公平測試型探究，例如，樓宇的高度、密度、排列方式是怎樣影響空氣的流通速度等等。關於社區綠化的意念則可以轉化為一個問題解決型探究，如：如何改變現狀，提升住宅區的綠化品質？學生可以通過考察社區的綠化現狀，包括：綠化面積、人均綠地、樹種配置等，提出相應的建議。

## 2. 面面俱到

為追求全面完整的探究，將探究範圍不必要地擴充以獲取豐富的探究結果，是學生在提出探究計劃階段另一個比較突出的問題。在小學生看來，科學探究必須「面面俱到」，對與研究物件相關的問題都應該列入探究計劃。

例如，在一份有關環境綠化的探究計劃書中，學生提出五項探究內容：瞭解常見的植物及不同的植物在香港的角色；在學校及家居種植不同植物去綠化環境；比較綠化及非綠化地區的溫度、濕度及塵埃等；測試光合作用；製作葉脈書籤等。而另一份計畫書提出，為改善市區的空氣品質，運用多項探究設計，包括：水蒸汽降溫；風力發電；水力發電；大廈流線型通風設計等多項內容。

從這兩份計劃書來看，雖然學生在其中談到了多項探究測試，但對各項測試的目的並不清楚。例如，水蒸汽降溫與改善空氣品質有什麼關係，水蒸汽降溫與風力發電、水力發電、大廈流線型通風設計之間又存在怎樣的關係等。又如，瞭解常見的植物及不同的植物在香港的角色有什麼意義？為什麼要進行光合作用的測試？這兩項探究內容之間有什麼關係？在這些計畫書中，學生雖然能夠提出一些探究問題，但是對於「為什麼而探究」並不清楚 (Hart, Muhall, Berry, Loughran & Gunstone, 2000)，其結果就是儘量將各種相關內容羅列進計劃書，誤以為這樣才是一個好的探究計劃。



## (二) 開展探究過程階段

### 1. 為做而做

選擇合適的方法和技術收集證據資料是回應探究問題的重要環節。為保證探究過程的科學性，學生們採用各種材料和方法進行了多項測試，但是所得的資料結果卻不一定能說明探究問題。

例如，在某一比較各種不同膠袋的耐用性的探究中，採用的測試方法是：比較用正方體投擲各類膠袋的情況；比較圓柱體投擲各類膠袋的情況；比較錐形體投擲各類膠袋的情況。雖然學生想利用不同形狀的重物投擲膠袋，以表明採用不同的方法驗證了同一結果，但這些測試結果都不能說明膠袋的耐用性，學生應該考慮膠袋承受重量或磨損的程度。又如，某探究的目的是測試不同材料製成的環保袋是否環保，採用的測試方法：比較各類環保袋沾上動物油後的易清洗性；比較各類環保袋沾上動物血後的易清洗性；比較各類環保袋在水泥地板上磨擦後的耐磨性。雖然學生進行了細緻地對比測試，但是探究結果卻只能說明各類環保袋的「實用性」而非「環保性」。除了測試方法，在探究材料方面也出現了脫離探究目的，用無效的結果驗證探究問題的現象。例如，某探究的目的是比較不同材料成分的保暖被的保暖效果，選擇的測試物料為：棉、羽絨、碎布、報紙。很顯然，碎布和報紙是學生為了增加資料的多樣性而選擇的物品，其測試結果並不能為回答探究問題提供參考。

從實例中可以看出，由於缺少證據的有效性的概念，學生常常將測試方法和測試材料的豐富性等同於資料的充分性 (Gott & Duggan, 2003)，出現為探究而探究的現象。

### 2. 依葫蘆畫瓢

公平測試或稱控制變數是獲取資料證據的重要方法，也是常見的探究類型之一。在小學科學探究中，學生們也經常使用這一策略開展探究。從表面上看，學生們似乎已熟悉公平測試的各種要素，如找出具影響性的各種變數，確定引數和因變數，改變其中的一個變數而保持其它變數不變等。但從深一層的角度來看，不少學生對公平測試的理解只停留於形式，而非真正理解公平測試對於獲取證據的重要意義。

例如，某探究希望比較填充不同材料（發泡膠、雞毛、棉花、空氣）製作的保存蓋的隔熱性能。學生懂得保持保存蓋的大小相同，保持盛水器的大小和材質相同，及倒入同樣的熱水。但是在比較各種保存蓋的散熱率時，卻忽略了保持開始水溫的一致性，而這一條件對於散熱率的比較有很大的影響作用，因為熱量的散失會在瞬間受到周圍環境的影響。從例子中可以看出，學生容易識別外顯的變數，有的甚至可以全部控制，例如，外觀形狀、大小、材質等，但是往往會忽略內隱的變數，例如，周圍的環境條件、濃度、速度等 (Gott & Duggan, 1995)。又如，某足球遊戲的設計與探究，測試購買的發泡膠球與其他材料製作的球（報紙、鋁箔）的性能。學生設計了兩組測試：保持重量相同，測



試三個不同材料製成的球的性能；保持直徑相同，測試三個不同材料製成的球的性能。由於學生不完全理解公平測試在這個問題情境中的運用，於是設計了控制重量和直徑兩組不同的測試。因為購買的發泡膠球直徑是固定的，為了比較它與其它材料所製作的球的性能，只要保持球的直徑不變，不斷改變其它材料製作的球的重量，就能選擇到大小（密度）合適的球。

這些實例說明，學生雖然能依葫蘆畫瓢地提供變數控制的元素，但並不能在實質意義上將變數控制的原理與探究內容相結合。

### 3. 隨心所欲

在科學探究中，能夠使用測量資料而非簡單描述以證明探究結果，顯示了學生在探究能力上的質的進步(Gott & Duggan, 1995)。從學生提交的探究報告來看，不少學生懂得以一連串的測量資料說明自己的結論。但是能夠使用測量手段和工具，是否表示學生能理解測量的意義和目的？

例如，為了探究螢光棒的發光亮度與環境溫度之間的關係，學生選取室溫、冰水和熱水作為溫度的改變條件。雖然學生懂得在不同的溫度下進行測試，卻將溫度這一連續變數錯誤地描述類別變數（冷、常溫、熱）。很顯然，這種類別性的詮釋限制了學生更準確地探索周圍環境溫度與螢光棒的發光亮度之間的關係。同樣的，在關於搖搖的探究中，學生為探討負重量對搖搖懸停旋轉時間的影響，進行了兩項測試（見表 1 和表 2）。雖然學生進行了多次測試，提供了一連串的資料，但是真正能夠說明問題的資料只有 13.0 秒和 15.5 秒兩個，而這兩個資料並不足以推出所謂的“搖搖重量越重，量度出的懸停時間越長”的結論

**表 1 搖搖重量增加 2 克後的懸停時間**

測試次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
時間（秒）	12.4	13.9	12.3	13.1	16.8	13.3	10.5	12.1	13.0

**表 2 搖搖重量增加 5 克後的懸停時間**

測試次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
時間（秒）	13.1	16.1	18.8	15.7	16.2	13.8	15.6	14.8	15.5



在上述實例中，學生嘗試以測量資料來展示探究結果，但是由於缺乏資料“可信度”的概念，導致出現隨意選擇測量的時間、頻率、範圍等現象。可見，建立測量的概念不僅意味著掌握測量技能，更重要的是在測量過程中形成決策的能力，決策的內容包括選擇測量的範圍和精確度，測量的時間和頻率，以及是否需要重複測量等，而這所有的決策點都取決於學生是否理解何為可靠的資料。

### (三) 解釋探究結果階段

#### 1. 牽強附會

一旦完成了資料收集工作，學生就需要進一步著手解釋自己發現的結果。解釋過程不僅包括綜合各種資訊尋找其中的規律，還包括考慮各變數間的關係以及確定事實證據是否支持相關的假設。從探究報告的分析結果來看，在形成解釋的過程中，學生往往基於原有的信念或想法而非觀測的事實來解釋事物和現象，特別是處理不支援已有知識理論的資料（反例）時候，學生常常以牽強附會的解釋方式回避認知衝突。

以鮮花保鮮之謎的探究為例，學生比較清水、鹽、砂糖、黃糖、燒酒、阿司匹林、可樂、檸檬汁、白醋、漂白水 and 維生素 C 對延長鮮花觀賞期的功效。根據學生查找的資料，白醋和黃糖可以延長鮮花的生命。然而，探究的結果卻顯示：黃糖不能令鮮花保鮮，而且是功效最差的一種物質；白醋同樣不能延長鮮花的生命。面對這些反例，學生表現得無所適從，認為：“在實驗的過程中，我們加入的黃糖分量可能太多，而令鮮花不能承受。令蛋白質不能分解，氣孔也不能張開，防止了正常的蒸散作用”。而對於白醋的反常現象，學生則“避而不談”。

除了以模稜兩可的解釋應對反例，學生甚至會以某種方式調整證據，以適應他們自己的那套理論。例如，在一項漂白水的探究中，學生進行了兩項測試：比較不同牌子的漂白水的漂白效果；比較不同牌子的漂白水的殺菌效果。由於高樂牌的漂白水的次氯酸鈉含量最高，為此學生提出假設：高樂牌的漂白和殺菌功能最強。在漂白效果的比較中，高樂牌比超值牌和花王牌的效果強。然而，在殺菌效果的卻顯示超值牌和花王牌的漂白水殺菌能力比高樂牌強，其結果與假設不同，而且與漂白效果的測試結果不一致。為了“圓滿”地解釋這兩項探究結果，學生對所得證據進行了重新解釋，認為：“這個實驗結果雖然與我們的假設結果不同，但亦可以解釋的。在實驗中，沾在高樂氏漂白水的麵包沒有完全被沾濕，故黴菌能在沒有漂白水的位置生長。”

在以上實例中，學生都把個人的猜想當作解釋理由，缺乏進一步的求證。研究指出，學生在處理與理論或預測不一致的資料時，常常出現忽略反例、反駁反例、舉棋不定、將反例排除在理論之外、暫時持有反例、在原有理論範圍內解釋反例、調整原有理論以適應反例等現象 (Chin & Brewer, 2001)。以上的分析顯示，當證據與原有理論不一致時，學生經常忽略不一致的證據，或者以某種有選擇性的、歪曲的方式注意這些證據。



## 2. 移花接木

將探究結果推廣到資料之外，而不是根據現有資料得出結論，是學生在形成解釋階段的又一個障礙。

例如，在某去除墨蹟的探究中，學生假設酸性物質能幫助去除墨蹟，但發現不能完全去除。在改進設計後，學生加入鹼性的洗衣粉，發現能完全去除墨蹟，於是得出結論：“酸性的物質有助於去汙，卻不能徹底清除，因此在實驗的過程中加入鹼性的清潔用品，墨蹟才消失”。在此，學生只是對其中的一種鹼性清潔用品洗衣粉進行實驗，而沒有對其它鹼性用品做測試，所得資料並不足以推出鹼性的清潔用品都能徹底去除墨蹟的結論。除了將結論範圍進行無限制地擴大，學生還可能主觀性地將「規律」強加於其中，特別是面對一些模糊的資料時 (Gott & Duggan, 1995)。例如，在關於陀螺的探究中，學生測試了轉盤的品質與旋轉時間的關係(見表 3)。根據表 3 中的資料，學生推出結論：“轉盤的品質、重量愈大，愈能保持旋轉狀態，旋轉時間愈長，即穩定性愈高”。從表 3 中的資料可以計算得出，隨著轉盤品質的增加，旋轉時間的平均值分別為 27 秒、24 秒、51 秒。雖然 25 克轉盤確實比 10 克、15 克轉盤的旋轉時間長，但這些資料並能推導出“隨著轉盤品質的增加，陀螺的穩定性愈高”的結論。

表 3 轉盤品質與旋轉時間的關係

膠紙重量 (克)		10 克	15 克	25 克
測試一	轉動時間 (秒)	15 秒	26 秒	50 秒
測試二	轉動時間 (秒)	30 秒	27 秒	56 秒
測試三	轉動時間 (秒)	35 秒	18 秒	48 秒

從這些分析中可以看出，儘管學生在探究過程中獲得一定的資料事實，但在形成結論階段卻不能將探究結果與資料事實相互匹配，以致出現隨意放大結論、強加規律等「移花接木」的現象。



## 研究啓示與建議

上述分析表明，學生經歷了整個科學探究過程，卻不一定能夠內化科學的思維方式。學生可能會把科學探究理解為依照既定環節進行的經驗探索過程，而非將其理解為依據事實證據來建構解釋模型的過程。典型的表現是，在探究開始之初，看似提出了很多疑問和設想，卻無法辨別具探究元素的科學性問題；在開展探究過程中，看似使用不同的方法，詳細收集了很多資料，卻較少質疑資料收集過程及資料本身的可靠性和有效性；在解釋探究結果階段，看似對資料做出了合乎情理的解釋，卻不能正確的評估事實證據，而代之以主觀臆斷的規律或結論。為此，將科學本質教學顯性化（**explicit**），使學生有意識地建立“科學思想是基於證據形成的解釋模型”的現代科學本質觀（見圖 1），是當前科學探究教學需要努力的方向，同時也是有效提升學生的科學素養的重要途徑（Giere, 1991）。

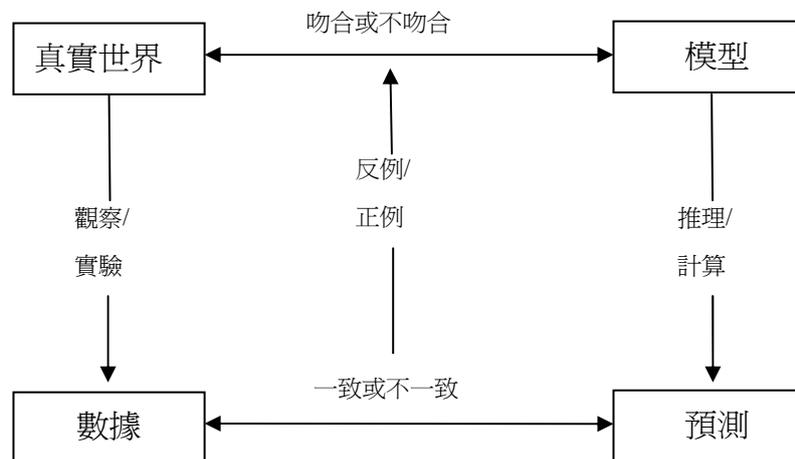


圖 1 科學思想的產生過程 (Giere, 1991)

若要實現這一目標，教師在引導學生開展科學探究活動時，需要注意以下幾個方面：

### （一）以提出問題為引子，增進學生對探究類型的認識

提出可通過科學調查研究能回答的問題是進入探究之路非常重要的一步。由於學生缺少對科學探究類型的認識，往往無法將探究意圖具體化，或者不加區分地將各種問題列入探究計畫書。科學探究的目的在於尋找對自然現象或事物的合理解釋，針對不同的探究主題，可以採取了不同的探究方式 (Waston, Goldsworthy & Wood-Robinson, 2000)，包括：

- （1）公平測試（**fair test**），如探究“哪種果汁醃過的豬肉柔軟程度最高”；
- （2）分類與鑒別（**classifying and identifying**），如探究“這是什麼品種的植物”；
- （3）尋找規律（**pattern seeking**），如探究“杯中的水量對敲打音調有什麼影響”；
- （4）探索（**exploring**），如探究“根據什麼特徵判斷一個柳丁裡面的橙肉片數”；



- (5) 設計與製作 (making things or developing systems)，如探究“怎樣製作自動灑水器”；
- (6) 模型探究 (investigating models)，如探究“封閉玻璃容器是如何維持裡面的生命體？

在計劃與設計階段，倘若教師能夠給予適當的提示，讓學生認識不同的探究主題及相應的探究類型，則可以引導他們轉換問題的提出方式，縮小探究的內容範圍，篩選出可探究的科學性問題。

## (二) 以證據概念為核心，發展學生的科學探究能力

在科學探究過程中，學生懂得運用各種方法和技能開展探究，如選擇不同的資料收集方法，運用公平測試的原理，使用測量工具等，但往往不能獲取充分、合理的資料以回應探究問題。可見，單純地將探究能力理解為某種方法技能，並不能明學生認識科學探究的意義所在 (Millar, 1989)。換句話說，如果學生心中沒有證據的概念，無論其經歷多少次探究過程，只能進程式化的科學探究。證據概念是關於科學證據的有效性 (validity) 和可靠性 (reliability) 的認識，前者指探究所得證據必須能很好地回答探究問題，後者指所得證據必須足夠 (Gott & Duggan, 2003)。儘管如何獲得合理的證據對於學生來說是一個很大的挑戰，但是教師可以根據學生的認知水準，以提問的方式讓學生注意證據的有效性和可靠性。例如：

- 在選擇資料收集方法的時候，提出：使用這些方法技術獲得的資料是否真的可以回答之前提出的問題？
- 在設計探究測試的時候，提出：所有相關的變數都已經充分考慮到了嗎？
- 在進行測量的時候，提出：不同的測試時間、時間間隔、測量範圍以及儀器的選擇等因素是否會對所得結論產生影響？等等。

## (三) 以辯護論證為平臺，提升學生的科學思維能力

科學探究是一個知識探尋的過程，如何協調證據和理論 (解釋) 之間的關係是科學思維能力的集中體現。從本次分析來看，學生在根據已有證據事實形成合理解釋方面還存在一定困難，特別是在探究結果與猜想假設不一致的情況下，學生常常忽略反例或否定實驗過程的有效性以維持預設判斷。面對這些情況，教師應該及時提醒學生注意證據的評估，保持理論與證據的一致性，將探究結果限制在所得證據的解釋範圍之內。一直以來，科學探究更多地被描述為動手做而非動腦想，相應地，事實證據的發現過程常常受到重視，而探究結果的解釋和評價則被忽略 (Driver, Newton & Osborne, 2000)。把科學視為一種論證 (science as argument)，鼓勵學生對所得證據和探究結果進行論證和解釋，這不僅可以讓學生充分認識證據在探究中的重要性，還可以讓學生更清晰地認識到證據和理論的區別，增進他們對科學本質的認識。為此，在形成解釋階段中，教師應該引導學生從多元的角度思考問題，鼓勵學生進行文本解釋 (interpreting texts)、權衡證據 (weighing



evidence)、評估其它可能的解釋 (assessing alternatives)、評價科學主張的解釋力度 (evaluating the potential viability of scientific claims) 等，讓學生就探究過程和結果提出質疑和批判 (Osborne, Erduran, Simon & Monk, 2004)。正如 Kuhn (1992) 所言：只有確認另一種解釋的不合理，才有可能確定科學解釋的合理性。

## 參考文獻

- Chin, C., Brown, D., & Bruce, B. (2002). Student-generated questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- Chin, C., & Kayalvizhi, G. (2002). Posing problems for open investigation: what questions do pupils ask? *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 269-287.
- Chin, C., & Brewer, W. (2001). Models of data: A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Chin, C. (2003). Success with investigations. *The Science Teacher*, 2(70), 34-40.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Duschl, R. A. (2000). Making the nature of science explicit. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research. Buckingham (pp. 187-206)*, UK: Open University Press.
- Duggan, S., & Gott, R. (2000). Understanding evidence in investigations: The way to a more relevant curriculum? In J. Sears & P. Sorensen (Eds.), *Issues in science teaching* (pp. 60-69). London: Routledge Falmer.
- Gott, R., & Duggan, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham; Philadelphia: Open University Press.
- Gott, R., & Duggan, S. (2003). *Understanding and using scientific evidence: How to critically evaluate data*. London: SAGE Publications.
- Giere, R. (1991). *Understanding scientific reasoning*. Fort Worth, Tex. : Harcourt, Brace, Jovanovich.
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.
- Harlen, W. (2000). *The teaching of science in primary schools* (3rd ed.). London: David Fulton.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiment? *Journal of Research in Science Teaching*, 7(7), 655-675.
- Hodson, D. (1998). Is this reality what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In J. Wellington (Eds.), *Practical work in school science: which way now* (pp. 93-108). London: Routledge.
- Kuhn, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62(2), 155-178.



- Leach, J. (1998). Teaching about the world of science in the laboratory: The influence of students' ideas. In J. Wellington (Eds.), *Practical work in school science: which way now* (pp. 52-68). London: Routledge.
- Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955-968.
- Millar, R. (1989). What is 'scientific method' and can it be taught? In J. Wellington (Eds.), *Skills and processes in science education: a critical analysis* (pp. 47-62). London: Routledge.
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S., & Monk, M. (2004). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Rop, C. F. (2002). The meaning of student inquiry questions: a teacher beliefs and responses. *International Journal of Science Education*, 24(7), 717-736.
- Watson, R., Goldsworthy, A., & Wood-Robinson, V. (2000). SC1 : Beyond the fair test. In J. Sears, & P. Sorensen (Eds.), *Issues in Science Teaching* (pp. 70-79). London: Routledge Falmer.