

高中學生如何進行有創意的生物學研究

蔡任圃

臺北市中山女子高級中學

壹、何謂「創意」

創意的定義因人而異，筆者認為最直接的意義就是：有效、獨特、簡單！在進行科學研究時，無論是研究主題、策略、方法、材料選用、數據處理、解釋、應用，若能符合上述三者之一，都可說是成功又具創意的作品。

貳、如何表現創意

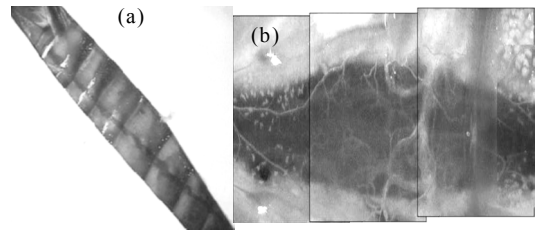
一、確定難題的特性與背景，發展解決它的獨創方式與技巧：

科學的歷史悠久，卻無法回答所有疑問，原因之一就是研究方法有所限制，因此發展或改良實驗技術，對科學的發展具有貢獻。以下舉測量蟑螂心搏量為例，說明如何發揮創意建立實驗方法。

（一）第一步：收集背景資料—了解蟑螂心臟的型態與生理

收集資料是最基礎也是最重要的一步。蟑螂的心臟有 12 節，其中胸部有 3 節，腹部有 9 節，在解剖顯微鏡下即可觀察。蟑螂的心臟由單層的心肌細胞構成，生理作用敏感，很適合用來研究環境因子與循環系統的關係。（如圖一）

（二）第二步：尋找前人的實驗架構與方法—查詢心臟相關的實驗方法



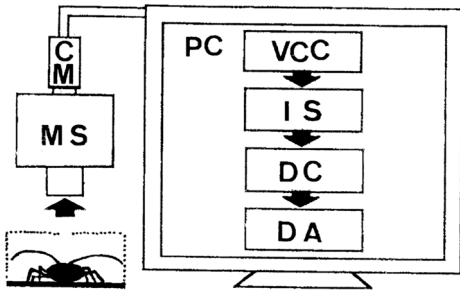
圖一、(a) 蟑螂背側中央可清楚觀察到長條型且分節的心臟(蔡, 民 93)。
(b) 在顯微鏡下可發現心臟附著許多氣管。

對於生理上的測量有兩個基本的限制：一個是測量的過程對生物體構造與機能的干擾與傷害，會掩蓋或改變正常的生理活性；另一個是測量工具本身的物理性質在實驗操作時所帶來的干擾。因此在設計實驗之前，可先參考前人所建立的基礎，例如昆蟲心臟的觀察方法有以下幾種：顯微鏡觀察、心機圖(mechanocardiogram)、心電圖(electrocardiography)、心光圖(optocardiography)、連續拍照，利用照片進行測量，及影像輸入個人電腦，利用電腦做測量的工作。其中利用電腦進行影像分析最適合進行蟑螂心搏量的測量。

（三）第三步：設計或改良實驗方法—設計出測量心搏量的方法

選定實驗方法後，著手設計適合主題的實驗架構(圖二)，與操作的細部流程。

例如以測量心臟舒張與收縮時的寬度差異，作為推算心搏量的參數。



圖二、實驗架構示意圖(蔡等, 2001; Tsai et al., 2004)。MS：解剖顯微鏡；CM：攝影機；VCC：影像捕捉卡；PC：個人電腦；IS：影像儲存；DC：數據匯集；DA：數據分析。

(四) 第四步：實驗方法的測試與改良—克服困難、改良精進

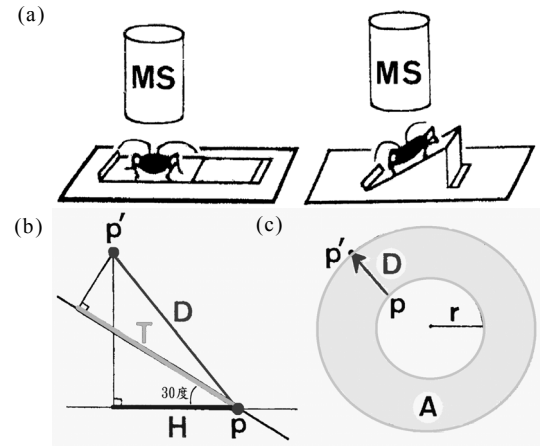
研究很少是一帆風順的，且愈是充滿荊棘的小徑，能披荊斬棘順利通過之人，更顯其不凡之處。在研究蟑螂心臟的努力中，一開始自然會遇到許多難題，例如蟑螂的背板雖呈透明，可不經解剖直接觀察心臟跳動，但蟑螂的心臟附近常常有脂肪分佈，造成觀察過程中心臟的邊界不清楚，不易觀察心臟壁，自然無法測量心臟的寬度。此時就需尋找解決方案。

在觀察蟑螂心臟的同時，常常也可以觀察到心臟附近的氣管(圖一 b)，心臟上的氣管會隨著心臟的搏動而移動，若無法直接測量心臟壁，則可以測量心臟氣管的移動距離，不失為直接測量心臟壁的替代方案。山不轉路轉，為了達成目的，必須尋找任何可行的方案，經過測試，分析優劣，比別人先到達荊棘後面的目的地。

二、活用所學知識，打破學科分野

我們常鼓勵學生多吸收各種知識，探索各種學科。因為研究所需的背景絕不只單一專業科目，若是研究者的知識狹隘，就很難發揮創意，這點常可在號稱「艱深專業」的科展作品中看出端倪。

以測量蟑螂心臟氣管為例，如何在二度空間的平面影像中，測量三度空間移動的距離，此時就需藉助高中數學所學的三角函數(圖三)。



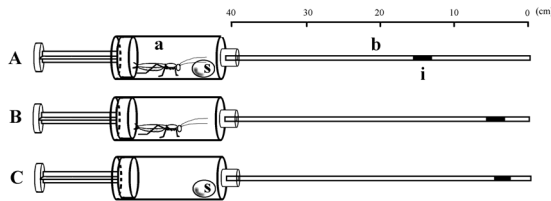
圖三、測量蟑螂心臟氣管移動距離之方法示意圖(蔡等, 2001)。MS：解剖顯微鏡。

(a) 改變蟑螂心臟水平軸角度為 0° 或 30° 的裝置圖。

(b) 利用測量 H 與 T 之距離，推算出 D 之距離，D 為氣管在心搏週期中之移動路徑 ($D = 2\sqrt{H^2 - \sqrt{3}HT} + T^2$)。

(c) 再利用 D 之距離推算出 A 之面積，以 A 面積的變化代表心搏量的變化 ($A = \pi (2rD + D^2)$)。

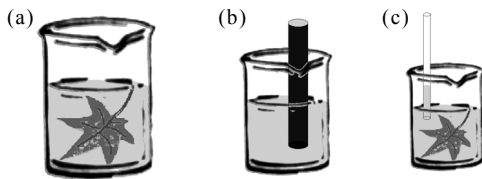
爲了解決生物上的問題，常常需利用其他學科的知識。另一個例子是高中化學所學的：氫氧化鈣能吸收空氣中的二氧化碳，利用這個知識，可用於測量動物在單位時間內的耗氧量與排二氧化碳量，進而推算實驗動物的代謝率與能量代謝情形(圖四)。在物理知識的應用方面，則可利用浮力或毛細現象的原理，測量葉片浸泡液的密度變化，進而測量葉片細胞的滲透壓(圖五)。



圖四、測定蟑螂耗氧量與排二氧化碳量裝置示意圖(蔡等, 2004)。a：實驗動物室(針筒)；b：細膠管(針頭部分)；s：透氣紙包裹之氫氧化鈣；i：標示用墨汁。

蟑螂耗氧量 = A 組針筒內減少的體積 - C 組針筒內減少的體積

排二氧化碳量 = 蟑螂耗氧量 - B 組針筒內減少的體積



圖五、測定葉片滲透壓的方法示意圖。

(a) 葉片浸泡於特定濃度的蔗糖溶液，若浸泡液與葉片滲透壓不同，浸泡液的密度會改變。

(b) 利用浮力的測量，計算葉片浸泡液的密度。浸泡液密度越大，浮力越大。

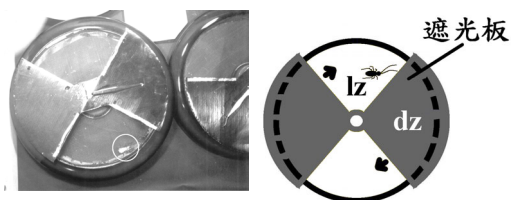
(c) 利用毛細現象，計算葉片浸泡液的密度。浸泡液密度越大，液柱越低。

三、利用隨手可得的材料，設計符合實驗需求的器材設備

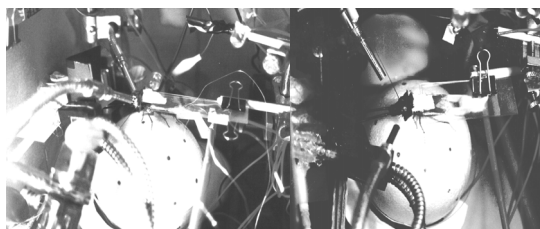
有人認為在科技如此進步的時代，PCR、HPLC、DNA 或蛋白質定序儀已經充斥於各種研究報告中，若不使用這些高科技設備，就不像在做研究，就不是走在科技的「尖端」。這種「偏見」正是阻礙科學發展、壓縮創意發展空間的兇手。實驗器材與方法應隨著研究的目的而改變，需要解決什麼問題就要找尋適當的方法，重要的是實驗方法是否能解決實驗的問題。

在沒有可用的器材，或無法使用昂貴儀器的情形下，爲了解決實驗上的問題，必須自行設計相關的器材，這正是發揮創意最佳的機會。例如上述測量耗氧量與排二氧化碳量的裝置(圖四)，針筒部分可購於五金行，細管爲園遊會氣球的手握柄。

爲了驗證蟑螂的負趨光性，原本設計一個長方形箱子，一半遮光，一半照光，觀察蟑螂在箱中兩區所停留的時間，但蟑螂經常長時間停留在光照區或遮光區，無法證實蟑螂是否具負趨光性。因此策略改成遮光板爲移動式，強迫蟑螂暴露在光照區，若蟑螂會隨著遮光板移動，就可證明蟑螂的負趨光性。但要如何製造出一個等速移動的遮光板？在日常生活中常見的器材中，可利用時鐘修改成如圖六的裝置，靠這套自創裝置，使研究蟑螂負趨光行爲成爲可能。如何設計屬於自己實驗特色的裝置，就需各顯神通了。有時實驗裝置很簡單，有時較複雜。例如爲了觀察蟑螂附肢的細部運動，設計了如圖七的裝置，屬於較複雜的設計。



圖六、觀察蟑螂負趨光行為的實驗裝置。蟑螂前胸背板上，黏附鋁箔紙以方便觀察(黃色圓圈處)。lz：光區；dz：暗區(蔡，民 91)。



圖七、探討蟑螂附肢運動的實驗裝置(蔡，民 91)。

參、創意的前提—研究應有的嚴謹與完整

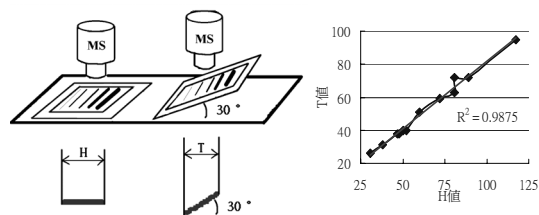
科學研究需同時兼顧嚴謹與創新，實驗設計的目的為真理的探尋、問題的解答。以下說明嚴謹的實驗設計應注意之事項：

一、去除非生物因素的影響

進行生物體實驗，需先確定所得的數據，確實可反應生物體的狀態，這是生物實驗重要的原則，這一步沒顧好，後面的努力都只是原地踏步。例如比較 A 與 B 兩種植物種子的發芽率，在兩組培養皿放入相同數量的種子與等體積的水，結果發現 A 的發芽率較高，因此結論為 A 植物的種子比 B 有較高的發芽率。但若仔細驗證，卻發現 B 種子的體積為 A 植物的 10 倍大，水分無法充分被吸收(水分只浸到種子

的一小部分)，且種子間的距離太近(相同空間容納較大的種子)。至於自然狀態下何種植物發芽率高，完全被非生物的因子掩蓋了。

利用影像分析觀察蟑螂心臟的設備，也需經一系列的測試，排除儀器設備本身的干擾。例如圖八所示，為了確定顯微鏡頭的景深因素，不會造成測量時的干擾，需先進行許多的驗證，確保測量技術與實驗設備不會影響結果的判斷。



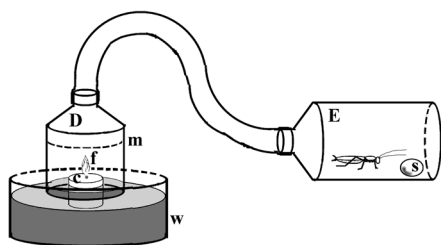
圖八、利用測量不同寬度的線條，測量 H 值與 T 值，驗證景深是否造成誤差。H 值與 T 值具高度相關，顯示所測量的數值穩定度高。

二、儘量一次只改變一個因子

實驗組與對照組的設立，是實驗設計的基本架構，尤其是兩組之間只能有一項因素是不同的。但許多因素是隱藏難見的，有時需深思熟慮才能揪出。例如注射某一濃度的乙醯膽鹼，發現心跳率增加，就認為乙醯膽鹼對心臟的作用為增加心跳率。許多人可以馬上指出此結論的錯誤，因為注射的刺激亦是一個影響因子，設立對照組就能解決這個問題。但生物實驗往往沒有這麼單純，乙醯膽鹼是直接作用在心臟上？或是影響神經活性，間接調節心臟？還是作用在腦部進而影響心臟的生

理？既然乙醯膽鹼的作用途徑不只一種，所以這個實驗設計依然很難解決問題，所以只改變一個因素並沒有想像中的容易（這就是離體實驗的價值之一）。

以製造缺氧環境，探討蟑螂在缺氧逆境下的生理反應為例(圖九)，利用燃燒耗去空氣中的氧，卻可能造成氣溫的增加，所以燃燒的空間與放置蟑螂的空間需分開，並以溫度計監控溫度的變化。另外燃燒產生的二氧化碳亦是干擾，需將其排除，以限制影響蟑螂的因素。

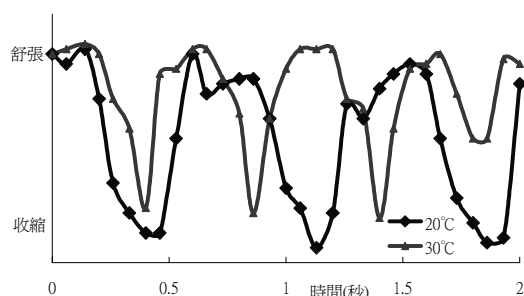


圖九、製造缺氧環境裝置示意圖。c：軟木塞；D：燃燒室；E：動物室；f：燃燒裝置；m：燃燒後水面上升的刻度；s：透氣紙包裹之氫氧化鈣；w：水槽(蔡等，2004)。

三、與先前的實驗結果作比較（用別人的成就成就自己）

有時重複別人的實驗，是因為前人的實驗設計有瑕疵，或是自己發展了更精細、精準度更高，或是更方便、容易的實驗方法。但最常見的目的，是證明自己架設的裝置，效果是正確無誤的。有前人實驗的背書(最好是已發表的結果)，讓大家相信自己的實驗方法具足夠的精準度，如此再延伸所做的研究，其結果更具公信

力。例如，前人利用心機圖發現蟑螂的心跳週期具有三個時期，而利用影像分析觀察蟑螂心跳亦發現這三個時期(圖十)，證明該方法與裝置，其解析度至少不會比心機圖差(甚至更優)，卻有許多其他的優點，而無心機圖方法的缺點。

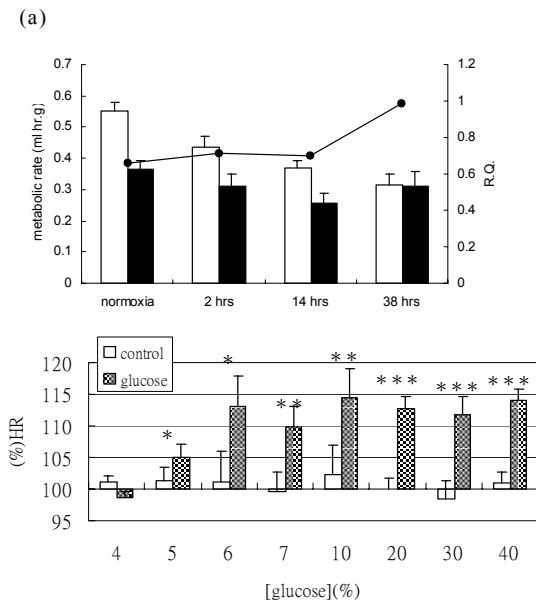


圖十、依據影像分析的觀察，顯示蟑螂的心跳週期有收縮期(systole，圖中c)、舒張前期(diastole，圖中b)及舒張後期(diastasis，圖中a)三期，與前人利用心機圖的觀察結果一致。

四、生物反應的特性

生物的反應，特別是生理反應，具有一些特性，也就是說，若能表現出這些特性，就能證明所觀察到的結果，不是人為或機械上的干擾，而是生物本身表現的特性。其中最重要也是最常使用的就是劑量效應(dose response)，也就是「在合理的範圍內，生物的反應強度與刺激的大小有特別的關係」，有時是正相關、有時是負相關，有時在特定濃度範圍中的刺激為正相關，在另一濃度則相反，或是其他的關係，但最常見的是前兩項。如能在實驗結果中表現出劑量效應，更能證明表現出來的正是生物的反應，而非其他干擾、雜訊的影響。

在探討缺氧逆境對蟑螂代謝的影響時，缺氧愈久耗氧量愈低，呼吸商愈高，呈現劑量效應(圖十一 a)，若只區分缺氧組與控制組兩組做比較，不但無法看出生物反應的趨勢，亦較無法取信於人。同樣地，蟑螂吸食葡萄糖水時心跳率會增加，但只有當糖水濃度大於 5%才有效果(圖十一 b)，而在 6%以上，無論糖水多濃，心跳率的增加皆已飽和。劑量效應具有重要意義，是生物研究不可或缺的部分。



圖十一、(a) 不同缺氧時間之經驗對代謝的影響(蔡等, 2004)。□: 耗氧量; ■: 排二氧化碳量; --●--: R.Q.值。

(b)吸食葡萄糖溶液對蟑螂心跳率的劑量效應(蔡等, 2001)。

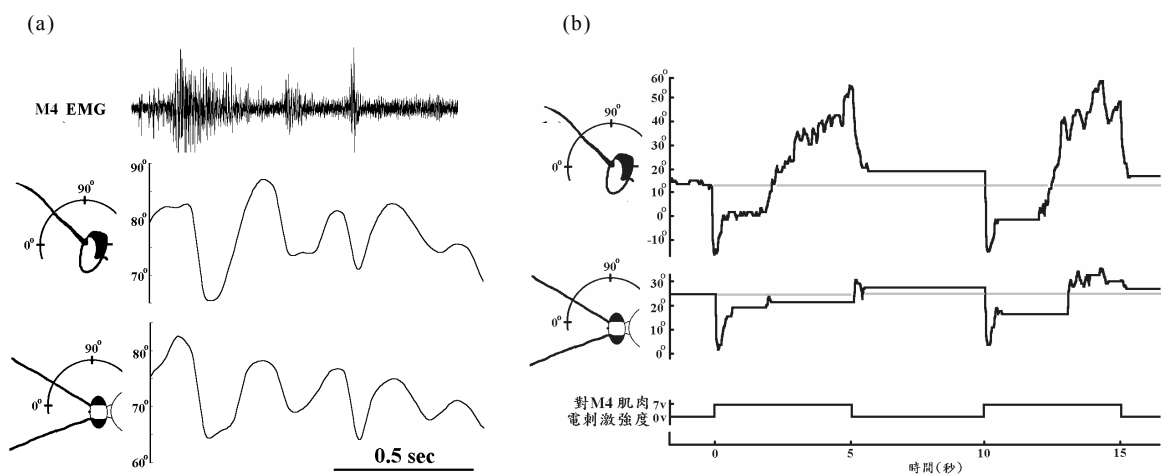
五、利用正向與反向的角度(或多角度)去證明假設為真

最簡單的實驗設計，就是設立一組實

驗組，一組對照組。當實驗組的結果與對照組不同時，就表示處理的因子具有作用。但在追求嚴謹與真理的研究精神中，這樣常常是不夠的。例如蟑螂的觸角基節裡，有一條肌肉代號為 M4，為了瞭解這個肌肉的生理功能，可同步紀錄 M4 的肌肉活性(肌電圖, EMG)與觸角擺動路徑(如圖十二 a)，發現 M4 肌肉產生活動時，伴隨著觸角向下與向內的擺動，即可認定 M4 肌肉對觸角擺動的生理貢獻為何。但有可能是湊巧的，或其他肌肉的作用掩蓋過 M4 的生理作用。因此，用另一個角度思考，除了被動記錄肌肉活性，亦可主動地以電刺激方式，強迫 M4 肌肉收縮，再觀察觸角的擺動路徑(如圖十二 b)，其結果亦支持之前的發現。現在，對於 M4 肌肉的生理角色，更加地確定了。

肆、結論

研究的原則與需注意的事項實在太多了，但只要把握住要點，就能盡情享受探索與解謎的樂趣。好奇心固然是進行研究的原動力，可說是起點，而不斷地思考、精進，與克服困難、說服他人的巧思與努力，卻是順利走向終點的不二法門。做實驗失敗是很常見的，錯誤與瓶頸正好展示了先前的方向與設計所具有的瑕疵，給我們改良、成長的基礎，所以當科展的過程非常的順利，就應該要檢討是否思路不夠縝密，因此還未發現問題，或是所發現的現象其實是測量的瑕疵，並不能反應生物體狀態，或是判斷、解釋錯誤。



圖十二、利用不同方法證明 M4 肌肉的生理功能(蔡，民 91)。

- (a) 觸角 M4 肌肉 EMG 與觸角擺動路徑之同步紀錄圖。顯示 M4 肌肉產生活動時，伴隨著觸角向下與向內的擺動。
- (b) 電刺激 M4 肌肉，亦造成觸角向下與向內的擺動。

在本文所提到的例子，不一定是思慮周密的最佳範例，只期在此拋磚引玉，與各位先進一同發揚科學精神，分享研究過程的奇異探險。

伍、參考資料

- 蔡任圃、黃璧祈、童麗珠和林金盾。2001。影像分析探討餵食葡萄糖液對蟑螂心輸量的效應。台灣昆蟲。21:133-145。
- 蔡任圃。民 91。單眼與複眼在蟑螂運動行為上的調控功能。師大生物所碩士論文。

蔡任圃。民 93。蟑螂心臟活動的觀察方法。科學教育月刊。257: 31-37。

蔡任圃，張凱淳，李彥翰，陳柏妮，陳暉瀚，林金盾。2004。缺氧對美洲蟑螂代謝的影響。生物學報。39: 41-48。

Jen-Pu Tsai, Li-Chu Tung, Ming-Chung Lee, and Jin-Tun Lin, 2004. The effect of octopamine on the cardiac output of cockroach by using computer-based video analysis on measuring stroke volume. Taiwania 49(1): 7-15.