

生物

Biology Search 搜查線

第17期

105年4月26日出刊

COVER STORY

跨領域的～ 無私共享



專案特搜1 p.2

跨領域的無私共享——
江宏仁教授的生活科學家之夢

專案特搜2 p.5

我在科學教育上的戰略布局分享

專案特搜3 p.10

以昆蟲為實驗動物的推廣實驗



本刊物物電子檔

1050112 (A)



專案特搜①



跨領域的無私共享—— 江宏仁教授的生活科學家之夢

江宏仁小檔案

1. 台灣大學應用力學所助理教授、中央研究院合聘助理研究員
2. 日本東京大學物理學博士
3. 經營科學影像scimage部落格 (2009~迄今)、科學Maker臉書社團 (2014~迄今)



走進台大應力所一間小小辦公室裡，五坪的空間裡，乘載了引發科學Maker的原始力量。科學Maker，一個擁有2.6萬人次主動加入的非公開社團，是大家登記手機顯微鏡的地方。

「其實我是植物系畢業的」。江宏仁教授在聽聞眼前的採訪者是畢業於生科系後如是說。單分子與膠體粒子雷射熱泳、軟物質非平衡輸送與操控、自泳動粒子與主動材料、非平衡奈米介面與應用…等，實在是讓人難以想像，教授實驗室簡介所列的這些研究領域，能如何從生物開始發酵。

「我植物系時主要是學分子生物，雙主修化工；研究所念應用力學所，然後到日本念物理」。不論是怎樣的契機引發這一連串的經歷，但看起來，在許多學者呼籲新進生技學子能跨領域思考之前，教授早已透過內在的動機而開始落實。同時也因為這樣的跨領域背景，讓教授覺得自己能讓專注於各領域的人們之間，擁有一個可以進行資訊交流的管道。

科學 + 影像

在網路同時蒐尋「科學」、「影像」關鍵字，可以找到一個科學影像scimage部落格（圖一）。部落格裡面的文章幾乎都是由江教授親自撰寫，



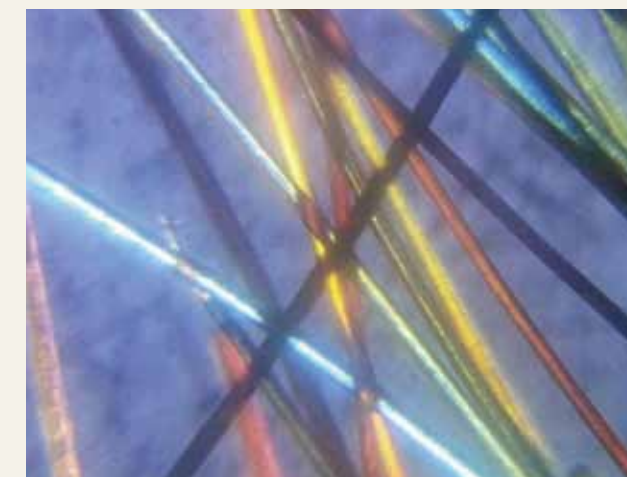
圖一 科學影像scimage部落格文章

內容大多是1000字左右的短文，搭配與手做實驗有關的影片，成為一篇篇有影像搭配的科學文摘，類別包含：人類社會、化學材料、天文宇宙、生技醫療、生態環境、地球科學、物理、資訊科學…等範疇，其中以應用科技類的文章居多。

部落格是教授在日本留學的時候創建的。「我想做科學教育…不只是在學校上課的時候能做實驗，覺得在日常生活中也可以。」江教授很單純而肯定地說。「因為網路很發達，所以想透過網路…加上自己接觸過比較多領域，所以想讓大家知道其他領域在做些什麼。但現在已有泛科學等廣泛的網路媒介，所以就比較少寫文章，而將重心改為設計手機可用的實驗工具」。

生活科學實踐家

「想起來了！是2013年12月25日公布的。」教授對於第一台手機顯微鏡的完成時間，回憶了一陣子。「因為想當作大家的聖誕節禮物，所以在臉書上問朋友『我完成了！有沒有人想要？』，才成立了社團讓大家登記，沒想到會越變越大。其次，是想讓大家隨時隨地都可以做實驗，所以用了Maker這個詞。」然而教授不只是將手機變身成數位顯微鏡（圖二），亦研發了偏光模組（圖三）、螢光模組（圖四），以提供更多、更詳細的分子資訊。



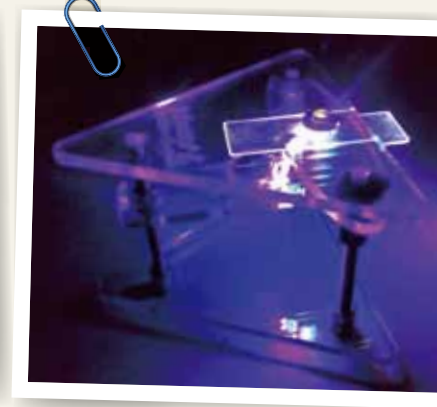
圖五 頭髮偏光觀察



圖二 手機顯微鏡架



圖三 偏光模組



圖四 螢光模組



除了生物領域，教授亦為其他科目發展了手機光譜儀。「經由這個工具，希望有一天在臺灣的課堂上，化學老師帶著學生邊看光譜邊跟學生說明，化學反應中分子怎麼重新組合。物理老師當著全班的面看著一條條光譜，說明量子理論發展的由來，指著不同顏色的光跟出現的位置，說明繞射跟光柵結構的關係。地科老師可以照著星體跟礦物，說很多關於地科的故事。生物老師可以培養細菌，用光度計量測生長曲線給學生看，說明生命最基本的動態，或是照著葉子說明能量如何被生命擷取利用。」教授如此地想像著。

讓夢想成真

「手機功能很多，拍照、錄影都可以；以前只能是一個人的眼睛貼在接目鏡上觀察，現在就可以多人一起操作。最重要的是，大家都有手機！」憑著單純的信念，想到網路發達、手機普及，因而創建了部落格和手機顯微鏡。

「每個家庭都有小小實驗室跟小小工作室，

是我一直以來的夢想，希望未來的社會，每個人都有能力去做實驗找答案，都可以用自己的手跟腦創造出合適的東西。」這個謙卑而將目光皆投注在他人身上的熱情，成就了其他人對於小小世界的無限想像。

教授的動機與行動力，讓人想到，三月放榜後隨即忙著申請學校的孩子們，是否也能找到自己那份單純的渴望，為自己的人生找到一個可以持之以恆的目標，然後在自己的人生中發光發熱。「真心感謝學術生活遇到的每個人還有社團的大家，讓我實現了一些願望。我不一定能符合所有人的期望，每個人都是獨特的，希望世界上每個人都有機會去發揮自己的天賦，都有很好的故事。」看到教授在社團裡面的真情流露，不禁讓人感動。

圖片來源：

圖一～四：江宏仁

圖五：黃奕杰



來去閱讀：科學影像scimage

如果您曾經為手機顯微鏡設計教學活動，或是已經在構思可應用的方向，甚至想建議手機顯微鏡能如何更加貼近教學現場，都歡迎聯繫或投稿至hy.sun@lungteng.com.tw

專案特搜②



我在科學教育上的戰略布局分享

臺北市立中山女子高級中學 / 蔡任圃老師

一、說在前頭——我以為的特色課程

我認知與預期的特色課程，是建立在"特色教師"上（而且是由下而上，也就是教師自己想開發），因為教師才是課程中最重要的特色，例如：同樣的課綱課程（課本一樣、範圍一樣、內容一樣），為何還是有上的好與上的不好之分？關鍵在於"老師"。特色課程亦是如此，一樣的主題，不同老師所開發的課程內容，其豐富度、精彩度、實用度皆不同。因此，我認為老師們應開發屬於自己課程，該課程具有它獨特的課程特質、內容、屬性、專業、經驗與熱情等。

但目前教學實務上，似乎希望將特色課程變成模組化，開發出來的教材可以推廣給其他教師執行，甚至是不同學校、不同科目、不同層級（國中、高中或大學）的老師。這一點讓我很疑惑，如果可推廣的課程誰都能執行，且品質差不多，有何特色之有？算是特色課程嗎？我心中最佳的特色課程，是別人模仿不來，只有在這間學

校的這位老師的所教導的課程中，你才能學到、體驗到特殊的學習歷程。

與大學或其他單位合作開設課程固然對學生是有助益，但以長期穩定發展的角度思考，如果課程不是校內自行研發，資源不是校內的，當外來的師資、資源不再支持時（例如：計畫結束、無法相互配合、理念不合…等），這個課程就消失了！換句話說，這些課程是外來的，並不是該校的，外來的課程若無法演化成本土物種，終有離開、消失的一天。況且外來的課程，不僅無法反映該校的願景、理念和性質，反而是幫別人完成課程實驗或教學目標。

因此，我認為特色課程要能永續經營，以下是必要條件：自發性（不是被指派）、經驗累積與傳承（不能每屆都重新開始）、資源自有（不完全依賴外援）、教師發展課程的專業（不會照本宣科，教師要有開發課程、活化教材的能力）。



二、我的重要資源： 實驗動物的培養

我於校內繁殖蟑螂作為教學與研究之用，已近10年之久（自2006年開始），並於2010年成立「動物行為與生理學實驗室」，開發以蟑螂為實驗動物的相關實驗、教材，使本校與外校師生皆能獲得良好的教學資源與教學成效，並已成為本校特色之一。動物行為與生理學實驗室暱稱為「蟑螂實驗室」，為我進行推廣科學研究與科學教育的平台，不僅指導學生從事科學研究，也發展出許多可於中學推廣的實驗項目，甚至開設特色課程，成為中山女中特色課程的亮點之一。

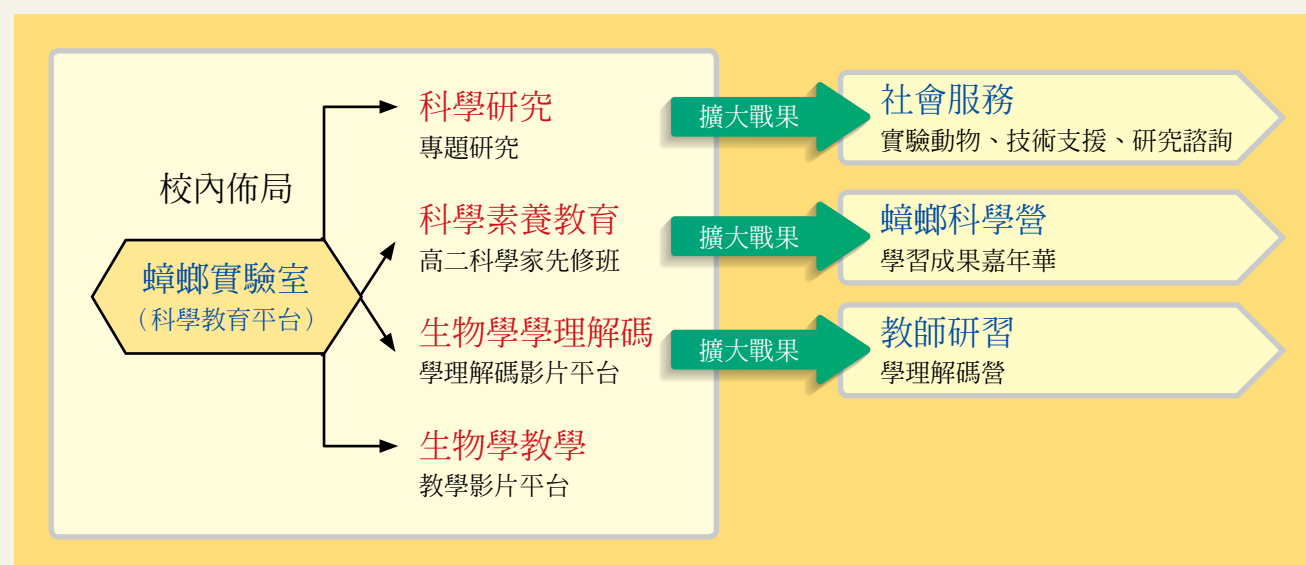
實驗動物的自行培養，使得本校進行相關科學研究時，有充足的實驗動物。以蟑螂作為主要的實驗動物，建立「實驗室」的研究主軸，累積相關主題的研究經驗與數據，學妹可依循學姐的研究繼續深入探討，將一個主題研究透徹，以避免不同屆、不同組的學生皆無交集，而須重新尋找資源及資料等現象，教師的指導也可較深入。相關研究的經驗與成果，成為實驗室的重要資產，久而久之，實驗室就可累積豐富數據，成為

非常了解蟑螂的研究團隊，進一步走向專業，且更有能力提供完善的教育訓練環境與資源。以蟑螂為教材主題的另一個重要目的，在於透過觀察蟑螂的過程，使學生瞭解蟑螂在生態系中所扮演的角色，體現生命皆美麗，物種皆平等的情意目標，以作為生命教育與生態教育的重要素材。



三、我的科學教育戰略—— 個人版的課程地圖

各校在發展校本課程時，需先擬定屬於學校的課程地圖，以此為主幹，分枝闊葉，使得教學理念與實務操作上具有系統性。教師個人在推動科學教育時，也應具有科學地圖的概念，由較高的視野思考科學教育的策略，以避免見樹不見林、捨本逐末的窘境。我的課程地圖（圖一）以蟑螂實驗室為科學教育平台，分別對「科學研究」、「科學素養教育」、「生物學學理解碼」與「建置生物教學影片資料庫」等四個項目，分別規劃相關課程或實作，此四個項目不但可向外推廣、擴大戰果，之間也有相輔相成的功效。



圖一 科學教育戰略示意圖（資料來源：蔡任園）

我的科學教育戰略中的四個項目，其內容與發展重點如下：

（一）科學研究

指導學生以蟑螂作為實驗動物，進行生物學研究，經過多年的經驗累積，我們已發展出許多研究技術，也建立許多昆蟲行為與生理學的研究資料，這些研究技術、經驗、學術成果都是我們的資源，讓新進的小科學家可繼續傳承、深入研究，這也是我們實驗室指導專題研究的特色之一：傳承性。科學研究不宜每屆學生都另起爐灶，應就同一領域深入探討，經數屆學生的接棒研究，才能瞭解透徹。更何況學無止境，永遠都有科學上的未解之謎等待我們探索。我們的實驗室還有另一特色，就是所有研究過程都在校內進行，不假校外實驗室與資源，如此我們不但有完整的研究規劃自主權，無需配合他人作息與限制，也能累積我們自己的技術、經驗與資料。科學研究課程除了數理資優班的專題研究課程外，普通班的有志之士也能進入蟑螂實驗室進行探討。

（二）科學素養教育

在國內還無「特色課程」這個概念時，我有鑒於本校學生的科學教育需求，在97學年度開設【科學家先修班】選修課程，當時該課程並無學分，而是於放學後，學生從各班來實驗室上課，錄取學生共18名。而後於100學年度高一開設【科學素養培訓】選修課，該課程為期一學年，具1學分與1節輔導課，錄取學生共40名。在這之中我發現高一學生的科學程度還未成熟，在討論一些科學研究的技術與過程時，高一學生難以理解，因此將此特色課程設立於高二，在102學年度開設於高二、三類組，為期一學年（18名學生），至今已第三屆。本課程透過實驗操作、蟑螂跑步機的設計與實作、實驗成果的討論與辯

論、實驗量化、數據處理與統計等練習，並舉辦國中女性科學家蟑螂科學營、學習成果嘉年華等方式，訓練學生觀察、實驗設計與操作、數據處理、科學表達、邏輯批判、活動規劃與執行、問題釐清與解決等能力，希望能將具有科學潛質及抱負的學生，培養成一個具有科學素養、技能與視野的科學家。科學家先修班課程涵蓋的教學內容眾多，表一以科學家先修班的幾個核心活動為例，說明課程的內容。

（三）生物學學理解碼

近幾年教改思潮的波濤洶湧，許多教師的教學方法開始多元化，足以證明教師們的專業與教育熱忱。相對於教學法的多元化，「教材內容」的精進與討論似乎相對較少，正所謂「沒有一無是處的教法，但有學理錯誤的教材！」，在高中階段的生物教育，啟發學生思考、辯證固然重要，建立基本且正確的生物學觀念亦是生物教師的重要任務。生物學博大精深，高中學子在上生物課時，也常遇到許多疑難雜症欲求解謎，但因課程匆促而無法與生物老師好好討論。另外，礙於時數限制，許多生物老師只求能將課文內容教完，許多與高中生物有關的知識、故事與學理機制無法妥善介紹、描述，對於愛好生物學的學子而言實為可惜。秉持著「教學相長」、「學習的道路上不分師生」的理念，期望能讓生物學愛好者一同討論、學習、成長，因此建立了「生物學學理解碼」平台（<https://goo.gl/BTnFdG>），以務本求實、格物致知的精神，以影片的方式呈現，釐清、解答生物學學理相關迷思、疑難雜症，以協助校內外師生獲得正確的生物學教材。截至104.03.23止已累積34支影片。

（四）建置生物教學影片資料庫

教學影片網頁平台（<https://goo.gl/vDQYtU>），將我上課所錄製的教學影片上傳雲端，提供校內



外師生教學資源，也可於線上討論相關教材、教法。目前已上傳高一至高三完整的生物科教材影片，並逐年增加，至104.03.23已累積之教學影片共673支，包含高一基礎生物200支、高二基礎生物155支、高三選修生物301支、數理資優班補充課程17支。



四、我的科學教育戰術、戰鬥

上述之科學教育戰略包含四個項目，而戰略下則有戰術與戰鬥兩個階層，戰術是指針對這四個戰略項目，分別設計其課程架構與重要教學活動，以【科學家先修班】為例，上學期的重要活

【科學家先修班】課程內容簡介

形式	課程名稱	課程內容簡介
講座	科學研究入門—創意與嚴謹的藝術	如何進行有創意的科學研究、研究的原則與方法
	數據處理與統計	數據分析方法與統計檢定
	生物繪圖與圖說創作	生物繪圖的目的、原則、方法
	科學文章簡介	科學文章的性質、功能、寫作方法
實驗	影響人體心跳週期的因子	探討各體內、外因子對人體心動週期的調節作用
	人體碳酸酐酶活性的測量	量化、分析人體唾液中碳酸酐酶的酵素活性，並探討酵素動力學相關性質
	蟑螂心跳週期的觀察與測量	昆蟲心跳週期的測量與探討環境因子的調節作用
	蟑螂血球的觀察	昆蟲血液細胞的觀察
	蟑螂神經索的解剖與觀察	昆蟲神經系統的觀察與神經生理的實驗
	蟑螂呼吸週期與代謝率的測量	利用簡易的化學原理，觀察蟑螂呼吸週期與測量耗氧速率與產二氧化碳速率
	蟑螂包裹作用的觀察與測量	包裹作用為昆蟲重要的免疫機制。本實驗探討蟑螂血球細胞進行包裹作用的相關性質，藉由”釣細胞”的方式，觀察蟑螂的免疫細胞。
	蟑螂脂肪體觸酶活性的測量	量化、分析蟑螂脂肪體中觸酶的酵素活性
	蟑螂的消化道內微生物的觀察	觀察蟑螂消化系統與其寄生、共生之微生物
活動與操作	蟑螂跑步機的設計與實作	設計可展示蟑螂行為或生理反應的設備，經多次發表、實作、改良後，製作出可運作的蟑螂跑步機，並於蟑螂科學營與學習成果嘉年華對外展示、說明
	出門找問題，入門找答案	觀察與提問訓練
	量化技術	量化的目的、種類、方法
	聽骨骼說故事	哺乳類與鳥類的骨骼型態與功能
整合型任務	科學寫作練習	簡介科學文章的定義與功能，進行科學文章創作與評析
	籌辦「蟑螂科學營」	於每年寒假舉辦蟑螂科學營，訓練科學家先修班的學生成為營隊規劃、執行者，也擔任小老師指導國中學員進行蟑螂實驗的操作
	學習成果嘉年華	於每年5月底或6月初籌辦學習成果嘉年華，向外展示學生在科學家先修班的所學與各項成果，每年參加觀眾踴躍，來賓從國小、國中、高中師生至社會人士皆有

動為蟑螂跑步機設計與實作、蟑螂科學營的規劃與籌辦，下學期的重要活動為學習成果嘉年華與台北科學日展示攤位的規劃與籌辦等；戰鬥，則是指在課程中的某一主題活動中，其教學流程、資源的安排。以「蟑螂心臟活動的觀察」課程為例，如何教導學生昆蟲循環系統的學理知識、如何指導學生觀察蟑螂的心臟運動、如何讓學生練習對心臟運動進行量化分析，並進一步引導學生進行實驗結果與生物學相關意義的討論。此外，在「蟑螂跑步機的設計與製作」課程中，提供學生發揮創意的平台，營造出獨特的逆境情境（每組遭遇的問題皆不相同），以引發學生解決問題的動機，使學生透過集思廣益、思考設計、動手實作與團隊合作等形式，設計並製作出可展現昆蟲運動行為或生理反應的「跑步機」。及透過這些過程訓練學生團隊合作、溝通、表達及解決問題等能力，由做中學(learning by doing)累積克服困難的技巧與勇氣，使高中學生不只會思考、會表達，還會動手做。

因各課程的戰術與戰鬥階層會因課程屬性而不同，且過於複雜繁瑣，礙於篇幅限制，在此就不作其他贅述。



五、廣告時間

生物學學理解碼是我推動生物學教育的重要一環，這學期末（5月31日）我計畫再舉辦生物學學理解碼教師研習，共有八個議題，其中包含兩個重要主題：

（一）光合作用的「碳反應」以前為何被稱為暗反應？

過去中學的生物教科書與課堂上，將光合作用分為「光反應(light reaction)」與「暗反應(dark reaction)」，目前教科書多已將暗反應改稱為「碳反應(carbon reaction)」，教師也常強調暗反應是指「不需光的反應」，且主要功能為固定二氧化碳，故稱之為碳反應較為適合，但這樣的說法正確嗎？為何有暗反應一詞呢？

（二）教科書的定義不正確－能量塔的相關疑義

生態系中各營養階層的能量流轉與物質循環，一直是高中生物教材中的重要一環，也是各種考試常出題的範疇。民國92年，生物科指考中有一題相關的考題（第34題），其答案與背後的原理，對學生與對高中教師而言，很難完整又正確地解釋，此題題目如下：

研究人員在甲、乙兩個不同的生態系調查後，發現兩個生態系的生產者總能量相同，甲生態系只有初級和2級消費者，乙生態系則有初級、2級、3級和4級消費者。如果其他的因素都一樣，則下列何項敘述正確？

- (A)甲、乙兩個生態系消費者的總能量都小於生產者的總能量
(B)甲生態系的消費者總能量小於生產者的總能量，但乙生態系則相反
(C)甲生態系的消費者總能量大於乙生態系的消費者總能量
(D)乙生態系的消費者總能量大於甲生態系的消費者總能量
(E)甲、乙兩個生態系的消費者總能量相等

大考中心提供的答案為A與C。這個答案合理嗎？老師們又如何向學生說明解釋呢？

專案特搜③



以昆蟲為實驗動物的推廣實驗

臺北市立中山女子高級中學 / 蔡任圉老師

本文以兩個器材限制較小的實驗活動為例，說明我們以蟑螂為實驗動物所開發的探討活動，但礙於篇幅，本文簡介其原理與大致的操作步驟，若想瞭解詳細的操作過程，可見參考資料中的相關文章。

一、蟑螂心臟運動的觀察

高中生物實驗以水蚤作為觀察心跳週期的實驗動物，其身體透明，在顯微鏡下可觀察心臟跳動，進而探討溫度因子對其心跳率的影響。所有生物老師都知道，這個實驗數據難以精準，「探討實驗數據與預期結果不同的原因」成為作業中必定討論的題目。這是因為水蚤具有許多缺點，例如：個體小且需置於水中，造成操作不易；需於顯微鏡下進行觀察，操作顯微鏡的能力影響實驗的成果；探討溫度因子時不易維持恆溫（介質過小）；對環境要求高而不易飼養；除溫度因子外，較難探討其他會影響實驗結果的原因等。

本實驗課程利用常見的昆蟲—美洲蟑螂（*Periplaneta americana*）作為觀察心跳活動的實驗動物，其生理反應明顯且易觀察，可透過肉眼或解剖顯微鏡直接進行心跳週期的觀察，並且無須解剖蟲體、殺死生命，可幫助學生建立基本觀念與練習實驗操作技巧。

（一）操作步驟

1. 利用市售蟑螂屋中的貼紙，剪成適當大小（約3×4公分）。
2. 將蟑螂低溫麻醉（置於冷凍庫中），或溺水麻醉（浸於水中），待其麻醉後，將其身上水分擦乾，將蟑螂六足朝下黏於蟑螂屋中的貼紙上。
3. 將蟑螂的翅膀張開，亦黏於兩側的貼紙上（圖一），使其背部露出。
4. 背部中央有一條黑線，從胸部延伸至腹部，即為心臟（圖二(a)）。
5. 於解剖顯微鏡下觀察蟑螂心跳週期（圖二(b)）。



圖一 將蟑螂固定於蟑螂屋貼紙

6. 探討溫度對蟑螂心跳率的影響

- (1) 於室溫下，計算蟑螂心跳率，測量數次之後，求其平均值。
- (2) 將蟑螂放置於培養皿（含蓋）之上，培養皿內放入冰塊，控制蟑螂周邊的溫度，使溫度降低到比室溫低10℃，再測量心跳率數次，求其平均值。
- (3) 將蟑螂放置於培養皿之上（含蓋），燒杯內放入熱水，使熱水的蒸汽將蟑螂加熱，使溫度維持比室溫高10℃，並測量心跳率數次，求其平均值。

7. 探討餵食清水與糖液對蟑螂心跳率的影響

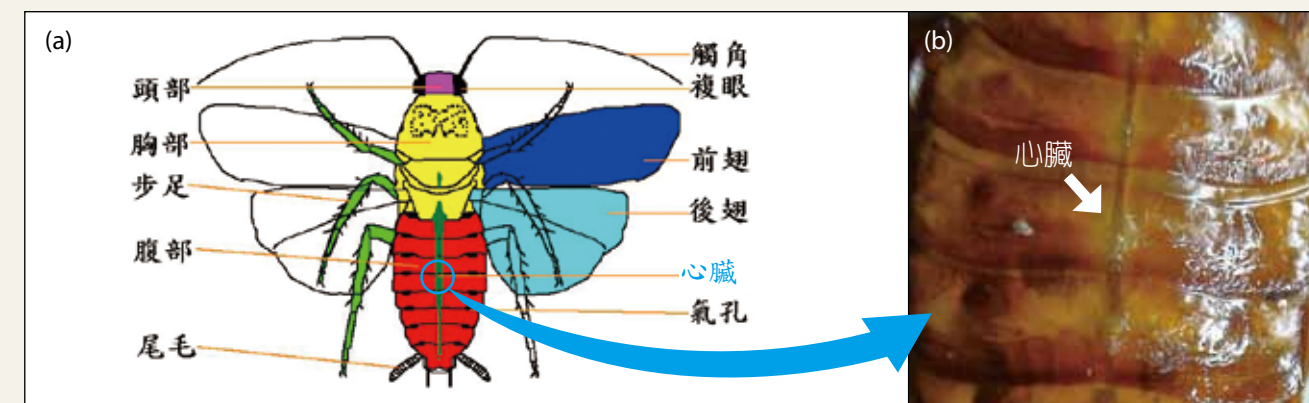
- (1) 將蟑螂口器露出。以清水沾濕棉花棒，觸碰蟑螂口器餵食清水，同時測量蟑螂心跳率。

- (2) 隔五分鐘後，以葡萄糖液沾濕棉花棒，再將之觸碰蟑螂口器餵食糖液，直至產生吸吮反射，同時測量蟑螂心跳率。

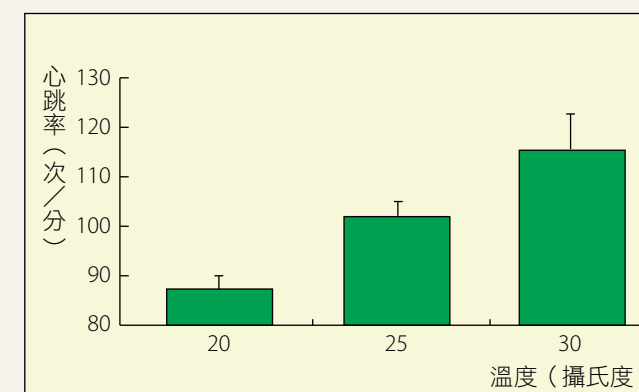
（二）、實驗結果

蟑螂在20℃、25℃與30℃的環境中，心跳率有隨溫度增加而增加的現象（圖三），在此三個溫度條件下，其溫度與心跳率呈線性關係，其趨勢線可以 $y = 2.92x + 14.05$ 表示（x:溫度，y:心跳率），相關係數（r）為0.997。

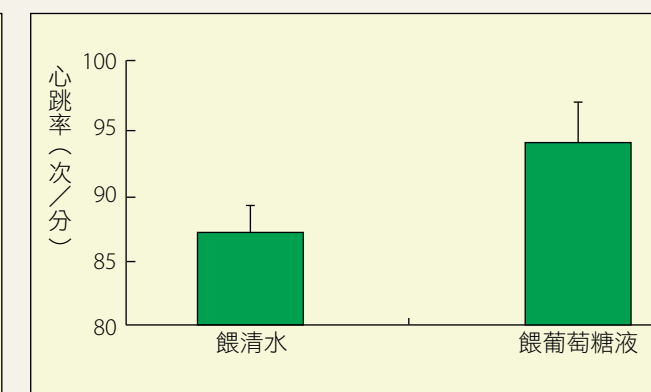
蟑螂的口器若接觸到糖水，會引起吸吮反射，所以實驗過程中若有觀察到此反射，代表蟑螂確實受到糖液刺激，其心跳率的實驗結果通常會較明顯。餵食蟑螂糖液時，心跳率會增加（圖四），其意義在於心跳率的增加可促進血淋巴的



圖二 蟑螂的心臟位置與型態 (a) 蟑螂心臟位置示意圖 (b) 解剖顯微鏡下的蟑螂心臟



圖三 不同溫度對心跳率的影響（平均±標準誤，取樣數=6）



圖四 餵食清水與糖水對心跳率的影響（17隻蟑螂，59次實驗）



循環，增加血淋巴流過消化道的速度，而增加腸胃道內養分擴散至血淋巴的效率（昆蟲為開放式循環），所以在餵食糖液時，不但口器產生吸吮反射，此時心臟的心跳率亦會增加，為吸收養分預作準備，這與人類聞到食物香味，胃液就開始分泌的原理類似。

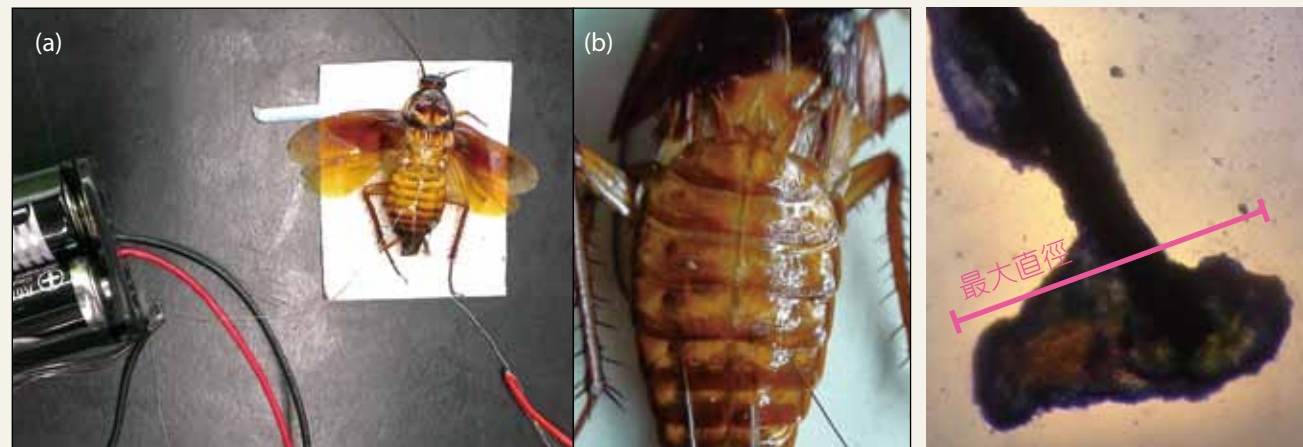
二、昆蟲包囊作用的觀察

免疫學領域的高中生物實驗，長久以來一直只有「人類血型的檢定」：利用抗體的凝集反應，鑑定血液的血型。此實驗需採集學生血液，其結果有時不易判讀（血液凝集結果不明顯），且有感染風險、不易操作等缺點，學生透過血液凝集判斷實驗結果，無法直接觀察免疫反應的過程，而是記錄看不見之分子（抗體）作用後的巨觀表現（凝血），對協助學生瞭解免疫相關機制、過程助益不大。

昆蟲雖不具明顯的專一性免疫，但其非專一性免疫非常發達，尤其是血球細胞的吞噬、包囊等作用，反應明顯且容易觀察，非常適合開發成高中學生進行免疫學實驗的課程活動。以下以蟑螂的「包囊作用」為主題，進行相關觀察活動與探討電荷對包囊作用之調節。

（一）操作步驟

1. 將麻醉後的蟑螂黏貼於蟑螂貼紙上，背面朝上，將翅膀張開黏貼於貼紙，使腹部背面露出。
2. 將兩根細銅絲分別由左、右兩側插入蟲體腹部（圖五(a)）。
3. 將左、右銅絲分別連接於電池座（圖五(b)），接上電池形成通路。（可先重複開、關電池座電源，觀察蟲體是否有抽動，以確保形成電流回路）
4. 將一根釣魚線插入蟲體腹部。
5. 經10至15分鐘後，將銅絲與釣魚線小心、緩慢地移出（必要時可用鑷子將背版骨片拉起），避免銅絲與釣魚線上的細胞被刮除。
6. 將正、負極銅絲分別置於載玻片上，輕輕蓋上蓋玻片（不滴水、不染色）；魚線置於另一載玻片上，滴一滴亞甲藍液染色後，輕輕蓋上蓋玻片，置於顯微鏡下進行觀察。
7. 於40倍的倍率下，利用顯微測微器測量正、負極銅絲上包覆物的最大寬度（如圖六，以顯微測微器的刻度為單位）。
8. 觀察釣魚線上的血球細胞。

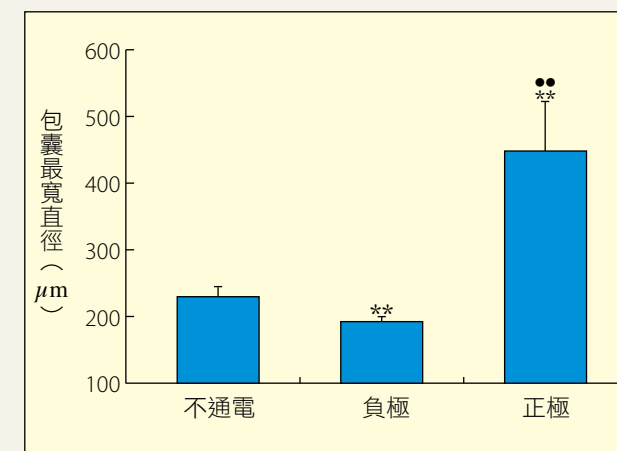


圖五 於蟑螂腹部插入兩極銅絲與釣魚線的方式
(a) 兩電線連接電池座，使兩根銅絲一為正極、一為負極
(b) 蟲體腹部插入兩根銅絲與一根釣魚線的照片

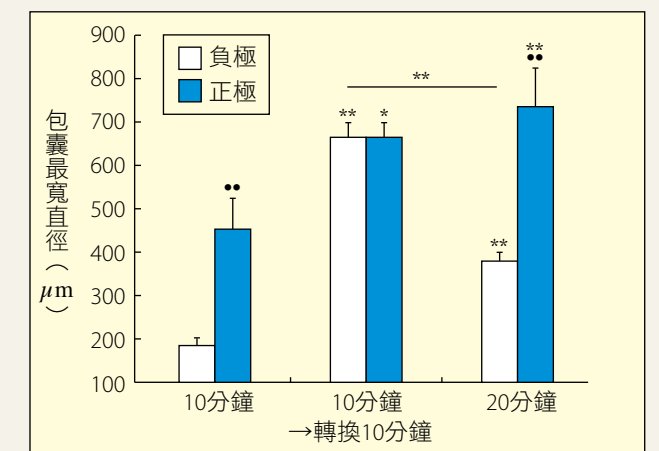
圖六 以顯微測微器測量血球細胞形成包囊的最大直徑（400 X）

（二）實驗結果

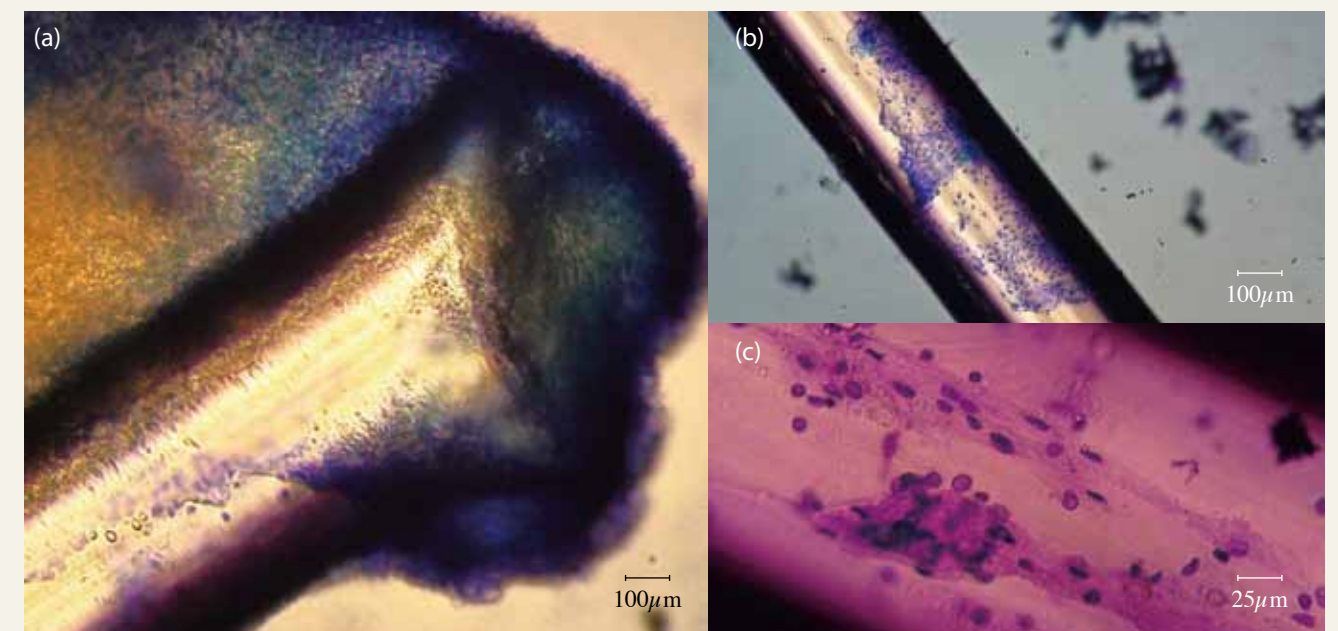
連接電源正極的銅絲可增加包囊作用，而連接電源負極的銅絲可抑制包囊作用（圖七）。若先通電10分鐘後交換正負電極，再繼續通電10分鐘，則此兩銅絲的包囊程度不具差異，但會大於通電10分鐘的正電銅絲，且小於通電20分鐘的正電銅絲（圖八），由結果顯示，包囊細胞形成包囊後不會散去，不具可逆性（吳，2016）。



圖七 不通電與正、負極銅絲植入蟲體10分鐘所引發包囊作用的最大包囊直徑（平均±標準誤，n=20, 10, 10）。
與不通電相比（單尾t檢定）：* * : $p < 0.01$
與負極相比（單尾配對t檢定）：● ● : $p < 0.01$



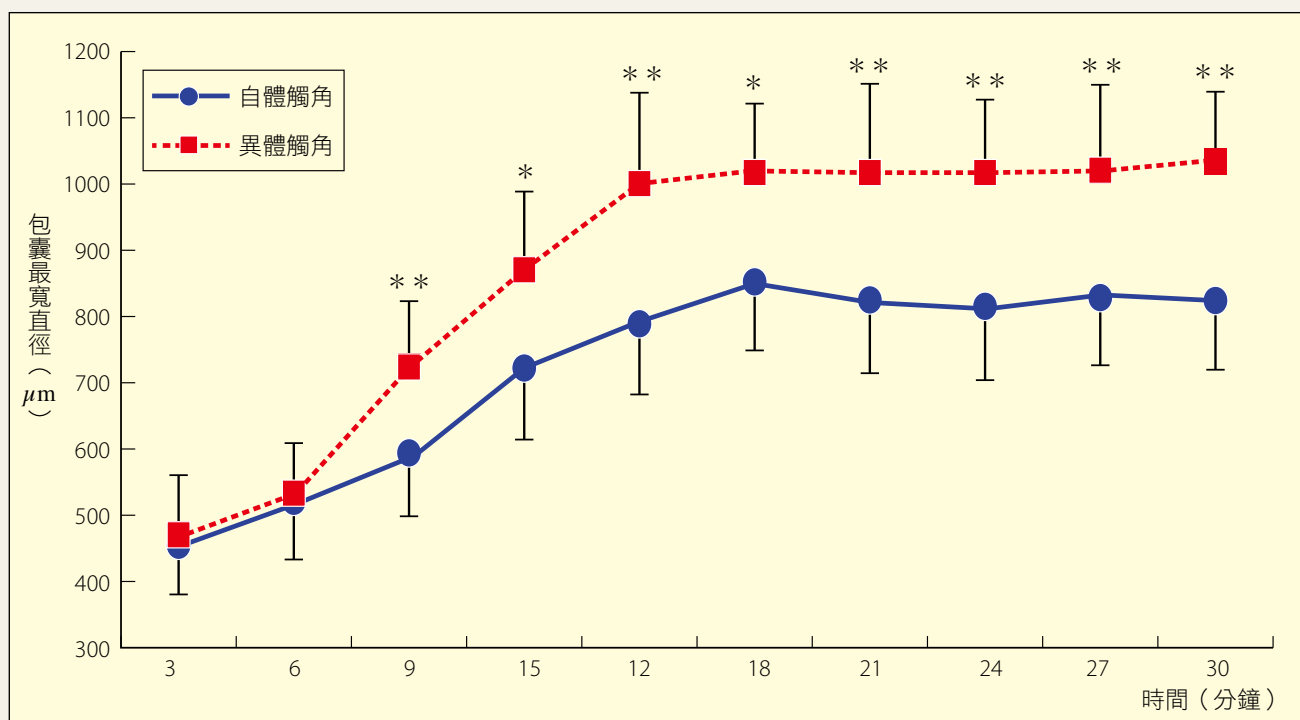
圖八 負、正極銅絲植入蟲體10分鐘，10分鐘後轉換10分鐘、20分鐘所引發包囊作用的最大包囊直徑（平均±標準誤，n=10, 10, 10）。
與10分鐘組相比（單尾t檢定）：* * : $p < 0.01$
與負極相比（單尾配對t檢定）：● ● : $p < 0.01$



圖九 於透明釣魚線上所觀察到的血球細胞 (a) 包囊作用 (b) 血球細胞(100x) (c) 血球細胞(400x)

(三) 免疫系統的敵我辨識能力

透過上述的實驗方法，也可觀察免疫系統的其他性質。若將自體與另一個體的觸角，同時插入蟑螂腹部，15分鐘後取出，分別測量兩觸角上最大的包囊直徑，可發現蟑螂的包囊作用具有敵我（self/non-self）辨識的性質，即異體植入物引發的包囊作用強度大於自體植入物（圖十）。我的學生（吳季昀同學）以此為題，發現蟑螂的免疫系統不但具有敵我辨識的能力，也具有類似人體專一性免疫的記憶性質，並且包含促進性與抑制性的記憶效應，今年將代表臺灣參加美國國際科展（ISEF）。



圖十 自體與異體觸角植入蟲體後隨時間所引發的最大包囊直徑（平均±標準誤，每個數據取樣數為6，共使用60隻蟲體）。與自體觸角相比（單尾配對t檢定）：*： $p < 0.05$ ；**： $p < 0.01$

參考資料與圖片來源：

1. 蔡任圃（民92）。蟑螂心臟活動的觀察方法。科學教育月刊，257，31-37。
2. 蔡任圃（民103）。認識身旁的小傢伙（14）—昆蟲包囊作用的觀察。科學教育月刊，371，41-47。
3. 吳季昀，2016。「蟑」冠「裡」戴—蟑螂免疫系統之敵我辨識與記憶性等性質的探討。臺灣國際科學展覽會動物學一等獎作品。
4. 圖一～十：由蔡任圃老師提供。



2016 升級大改版
lungteng 5.0
龍騰官網

<http://www.lungteng.com.tw/>



產品總覽

三步驟／輕鬆選書

1. 點選產品總覽
2. 選擇科目
3. 瀏覽書籍介紹



教學資源

選擇科目／檔案下載

1. 點選教學資源
2. 選擇科目
3. 檔案下載



康橋林口校區招生中 為孩子把握改變的機會

堅持，只為給孩子更好的未來！

CHOICE · CHANCE · CHANGE



林口康橋
3D示意圖



 **康橋** KANG CHIAO BILINGUAL SCHOOL
雙語學校

招生專線：
(02)8195-2022

網路登記招生說明會後，
本校將有專人與您聯繫。

<http://www.kcbs.ntpc.edu.tw>

