

# 研究與它們的產地——

## 上山下海開箱實驗室



中研院訊

Academia Sinica Newsletter

111年06月23日發行  
【特刊vol.4】





# 目錄

## 01 編輯的話

02 探訪神祕「植物基地」——中研院「實驗植物核心溫室」

10 從魔戒森林到借物少女——野地到實驗室的苔蘚植物及真菌研究

17 迷你腦、大啟發！——開箱中研院「腦迴路與行為實驗室」

22 探尋海洋生物面對環境變遷下的生存之道——開箱中研院「海洋個體生理學實驗室」

27 蔚藍廣大的夢幻實驗室——解開珊瑚與海龜的生態之謎

33 出發！搭乘魚耳「石」光機——開箱中研院「海洋古生物實驗室」

### 編輯委員

洪子偉、湯雅雯、林于鈴  
吳岱娜、賴俊儒、陳玉潔  
吳志航、林千翔、曾國祥

### 編輯

陳竹君、黃詩雯、陳昶宏

### 電話

02-2789-9488

### 傳真

02-2785-3847

### 信箱

wknews@gate.sinica.edu.tw

### 地址

11529臺北市南港區研究院路二段128號

本院電子報為同仁溝通橋樑，隔週四發行，投稿截止時間為前一週星期四下午5:00，若逢連續假期則提前一天截稿，歡迎同仁踴躍賜稿。

## 編輯的話——

去（2021）年年底，《中研院訊》發行了第3期的特刊，介紹院內豐富的動、植物生態景觀，得到許多讀者的迴響。有人驚喜都市內竟有如此綠色寶庫，並肯定本院對生態的維護，更有人想了解院內有哪些與動、植物相關的研究。編輯團隊決定帶大家走訪與「生態」及「動、植物」有關的實驗室，為大家開箱院內研究人員們的「工作日常」。

本次特刊「研究與它們的產地——上山下海開箱實驗室」將先從植物相關研究出發，探訪作為本院植物實驗重要基地的「實驗植物核心溫室」。本篇文章將告訴讀者溫室裡哪些秘密武器，能幫助植物順利生長，穩定供給研究人員實驗材料。而近年來，用苔蘚等植物製作「微景觀」成為許多人的嗜好，本院生物多樣性研究中心陳可萱助研究員即是以苔蘚和真菌為研究主題，帶著研究團隊深入臺灣森林、沼澤，到處找尋它們的芳蹤。

談到植物，除了賞心悅目外，也常讓人聯想到令人又愛又怕的昆蟲。而小小的「果蠅」，就是本院分子生物學研究所林書葦副研究員的「腦迴路與行為實驗室」中的主角，亦是解開人類大腦秘密的大功臣。讀者是否好奇，如此迷你的研究對象究竟要如何進行實驗呢？

除了植物與昆蟲，臺灣擁有四面環海、得天獨厚的地理條件，本院於宜蘭設立「臨海研究站」，作為海洋生物與環境的研究基地。本院細胞與個體生物學研究所曾庸哲助研究員在此建立「海洋個體生理學實驗室」，研究烏龜怪方蟹等海洋生物面對氣候變遷時的生理調解機制。

不僅宜蘭，臺灣南端的墾丁、綠島廣闊的海洋，亦是研究人員廣袤蔚藍的夢幻實驗室。本院生物多樣性研究中心野澤洋耕研究員「珊瑚礁生態實驗室」研究團隊成員，需要長時間待在水中觀察美麗的海洋生物。想加入野澤老師的團隊，「潛水」可是必備技能。最後，編輯團隊要帶讀者搭上本院多樣中心林千翔助研究員的「石」光機——「海洋古生物實驗室」——上山下海找魚貨、採化石，透過魚耳石及化石好好「考古鑑今」一番。

本期特刊中，編輯團隊希望讓大家看到本院研究人員的專業、對研究的熱愛，及研究背後的關懷——人類與其生存環境的永續發展。面對全球氣候變遷帶來的環境問題，除了學術研究之外，還需要更多人的關注與努力。

這次的開箱之旅，讓編輯團隊發現好多有趣的實驗室，但礙於篇幅與時間有限的關係，無法一一為讀者介紹，期許未來有機會可以分享更多不同的實驗室及研究內容給大家。希望讀者會喜歡這期的特刊，若你有任何有興趣的主題內容，也歡迎來信與我們分享！



## 探訪神祕「植物基地」—— 中研院「實驗植物核心溫室」

採訪、攝影：陳竹君、郭嫻君（本院秘書處）／撰稿：陳竹君

▲溫室中收集的數百種秋海棠

在乍暖還寒的春天裡，編輯團隊帶著雀躍且期待的心情造訪中研院「實驗植物核心溫室」。採訪的那天剛好是4月22日——為提倡環境保護而訂定的「世界地球日」。中研院溫室不僅肩負生物多樣性的保種任務，更是極端氣候下，糧食作物改良研究的重要基地，與世界地球日的環保宗旨不謀而合，也使得我們的造訪更加有意義。接下來，就讓我們跟著溫室林谷峰經理的腳步，一起前進溫室吧！

中研院「實驗植物核心溫室」位於生科大道底端、土地公廟旁的靜謐山腳下。由本院前副院長陳建仁院士召集，整合院內植物研究相關資源，秉持「資源共享、專業管理」的精神，於2011年成立這間全臺少有的核心研究設施，作為研究人員產出頂尖研究成果的重要基地。



▲中研院「實驗植物核心溫室」位於生科大道底端（秘書處提供）



▲溫室大樓外上百歲的「臺東蘇鐵（*Cyas taitunge nis*）」，為臺灣原生種蘇鐵類植物

## 核心溫室的功能

踏入溫室大樓前，核心溫室的林谷峰經理首先為我們介紹中研院溫室最重要的功能，分別為：「支援前緣研究」、「模式植物培育」，以及「保種、育種工作」。「前緣研究」包括因應氣候變遷的農業作物改良，例如：分子生物研究所余淑美特聘研究員的抗旱水稻研究、植物暨微生物學研究所王中茹副研究員的玉米基因研究等。「模式植物」指的則是培育生長週期較短、利於觀察及進行基因研究的物種，例如：阿拉伯芥、水稻、玉米等。而有關植物「保種、育種」最為人知的研究成果，即是已故的生物多樣性研究中心彭鏡毅研究員，從世界各地蒐羅而來的600多種原生種秋海棠！



▲模式植物——阿拉伯芥

## 溫室裡的「智慧宅」，模擬植物生長環境

踏入溫室大樓後，林經理先帶我們認識對植物而言，如同空氣之於人類的土壤準備室與介質室。土壤準備室裡面有台「高壓滅菌鍋」，用來處理處理有壞菌、蟲卵的介質，或者已做完實驗的廢土，避免丟棄後造成環境汙染。



▲高壓滅菌鍋

介質室裡則有各種尺寸的盆器和不同種類的介質，讓溫室內的植物有個舒適的家。什麼是「介質」呢？介質指的是用來種植植物、供給養分的材料，會根據不同植物需求來調配比例，例如介質室裡除了乾淨的泥炭土之外，還有珍珠石、蛭石等。房間裡還停了一台小巧可愛的植物運送車，是用來避免植物在各所／中心實驗室移動時，受到外在的汙染，對這些實驗植物可說呵護備至。



▲有著「蒂芬妮藍」的植物運送車

接下來，我們踏入了一個占地廣闊的挑高空間，林經理略帶驕傲的介紹，這可說是全臺最大的精密溫室，集結近200個大大小小的植物生長箱。植物生長箱可按研究需求自動調控溫度、濕度、光照等變因，模擬適合植物生長或實驗所需的環境。



▲不同大小的生長箱



▲生長箱內可調控光線、溫度與濕度

生長箱根據需求有不同的大小，但每座幾乎都能夠容納兩到三人！林經理打開了幾個生長箱讓我們一探究竟，裡面有水稻、玉米、阿拉伯芥等模式植物，還有美麗的蘭花，以及經過「轉染（transfection）」改良後觀察染病狀況的草莓等。



▲有點「太空科技感」的植物生長箱與實驗玉米



▲大家看得出來，這其實是染病的草莓葉片嗎？

林經理及溫室其他管理人員，每天都會花相當多的時間巡視生長箱，排除精密儀器的運作障礙，以及實驗植株的病蟲害情況。由於這裡集結全院許多研究室的植株，林經理表示，當有生長箱故障時，如何進行管理調度，確保研究人員實驗不會因此中斷，是看似簡單，實則複雜且重要的工作。

### 是溫室經理，也是植物醫師

「經理」這個詞彙，乍聽之下像單純的管理人員，但其實林經理還有另外一個身分，就是本院溫室專屬的「植物醫師」！當研究人員發現植株有異狀時，林經理會協助觀察植物外觀，判定問題所在，可能是缺水、缺肥、濕度等環境問題，也可能是病蟲害或細菌感染因素，然後對症下藥，例如：調整環境、用藥、消毒滅菌等。有時遇到肉眼無法明顯看出來的問題，也可能會使用機器掃描隱藏的病灶來判定疾病，幫助研究人員維護實驗植株的健康。植物醫師的工作，可說是研究團隊背後隱形的重要支柱！

## 植物們的水晶宮——玻璃溫室

離開精密溫室後，準備前往三樓玻璃溫室，和編輯團隊最期待的秋海棠們見面！到了三樓，我們先發現一間掛了黑色布幕的小房間，原來這是實驗植物專屬的攝影室，每個研究發表前，都會在這邊拍植物的「證件照」，備有消影燈等專業設備，讓植物拍起來清晰又生動。

玻璃溫室的入口有兩道防蚊蟲的紗門，還有散發強烈黃光的燈管，用於阻隔和忌避蚊蟲，林經理說明，這樣的黃光會使昆蟲的視線暫盲，看不見前面的路，讓它們不想靠近這裡，以保護植物避免受到蟲害侵擾。

踏入玻璃溫室區，良好的採光帶來濃厚暖意。這裡約有32間玻璃溫室，林經理每天都需要一一巡邏，除了檢查植物的狀態，也要留意通風、灑水、遮蔭等環境設備是否正常，「一間間溫室檢查起來，常需要一、兩個小時」，林經理笑道。

## 觀葉植物迷的天堂——千變萬化的秋海棠

編輯團隊本次探訪的重點之一——中研院的秋海棠收藏，按採集到的國家分門別類放在不同的溫室當中。造訪時期正好是秋海棠的開花時節，百花齊放、形色各異的秋海棠在溫室的水霧繚繞中對我們搔首弄姿，彷彿催促著編輯團隊為它們記錄最美的時刻。



▲植物的攝影棚



▲位於中研院核心溫室三樓的玻璃溫室



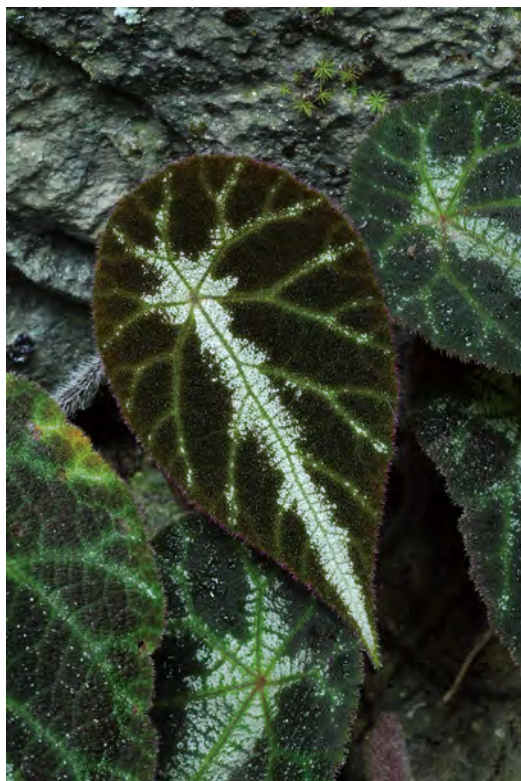
▲葉形千變萬化的秋海棠



林經理告訴我們，院內的秋海棠大部分是由已故的彭鏡毅老師及其團隊，走遍世界各地所蒐集而來的原生種，有些品種幾乎已於野外絕跡，因此溫室內的600多種秋海棠，更顯保護生物多樣性之功能。

由於秋海棠不耐日曬，又喜愛潮濕的環境，所以經常長在瀑布、岩洞等難以採集之處，彭老師研究之路的辛苦可想而知，但也因此發現了許多新品種，並以彭老師為名，例如：廣西發現的彭氏秋海棠（*Begonia pengii* S.M.Ku & Yan Liu）以及菲律賓的鏡毅彭秋海棠（*Begonia chingipengii* Rubite）。

林經理也為我們介紹一些葉形或名稱較為特殊的品種，例如外型像湯匙的「匙葉秋海棠（*Begonia blancii* M. hughes & C.I Peng）」，葉面突出像山峰的「黑峰秋海棠（*Begonia ferox* C.I Peng & Yan Liu）」，花紋呈十字的「鐵十字秋海棠（*Begonia masoniana* Irmsch. Ex Zeisenth）」，以及葉片帶紅色、花紋有如咳出一口血的「一口血秋海棠（*Begonia picturata* Yan Liu, S.M.Ku & C.I Peng）」等。讓身為植物控的編輯團隊眼花撩亂，巴不得天天都能來此弄花蒔草。



▲彭氏秋海棠（*Begonia pengii* S.M.Ku & Yan Liu）  
（彭鏡毅攝）



▲使用植物攝影棚紀錄鏡毅彭秋海棠（*Begonia chingipengii* Rubite）的美麗身影（彭鏡毅攝）



▲匙葉秋海棠 (*Begonia blancii* M. hughes & C.I Peng)



▲黑峰秋海棠 (*Begonia ferox* C.I Peng & Yan Liu) (彭鏡毅攝)



▲鐵十字秋海棠 (*Begonia masoniana* Irmsch. Ex Zeisenth)



▲一口血秋海棠 (*Begonia picturata* Yan Liu, S.M.Ku & C.I Peng) (彭鏡毅攝)

## 結語

結束核心溫室巡禮後，不僅了解其對院內研究人員的重要性，也體會到研究人員對學術、對我們所處環境的深切關懷——從踏遍世界蒐羅的數百種秋海棠，到研究可適應氣候巨變的糧食作物等，皆是為了自然環境及人類的永續發展。盼讀者亦能感受研究人員的用心，一起重視環境保育與氣候變遷議題。



▲林谷峰經理認為調配農藥，為植物除去病蟲害，是件有成就感的事情

## 編按

林谷峰經理的經歷很特別，於醫學院畢業後，進入中研院當時生農所（現農業生物科技研究中心）楊寧蓀研究員的實驗室參與研發口蹄疫DNA疫苗，後來陸續轉換工作後又輾轉回到中研院，至今已服務23年。從醫治人的醫學院到動物疫苗研發，現在林經理則是每天與植物為伍的植物醫師。

當我們詢問他在溫室大樓中，有沒有最喜歡的私房角落？林經理的回答竟然是放滿化學藥劑的「農藥櫃」！他認為植物醫師需要經過抽絲剝繭地找出病因、調配藥劑，才能幫助植物起死回生，非常有成就感。還曾經幫助過一名本院國際研究生學程（TIGP）的外籍學生找出植物枯萎的原因，讓學生順利畢業歸國，是他印象相當深刻的一件事。

最後，林經理還提供 **關於中研院溫室及植物可能讓你很意外的points** 要和大家分享：

1. 別小看路邊的小花野草，有時一株植物的基因數量可能比人類還要多
2. 當天邊一朵烏雲飄過，人類頂多會多愁善感，但植物可能已經因為微氣候的轉變迅速完成基因調控
3. 在溫室工作不僅要照顧植物，也要照顧因植物生長不佳產生的情緒
4. 設備也會鬧脾氣，追根究柢把它修好的過程，跟做研究一模一樣
5. 溫室蓋在土地公廟旁，是南港源豐煤礦遺址，但它最早設立在中研院大門旁的停車場
6. 溫室的電動搬運農機叫做Tiffany，是個沒加過油、沒牌照、沒出過中研院的井底之蛙
7. 在溫室工作不需要顏質，但需要對植物知書達禮、對設備勤儉持家。
8. 溫室有許多來自世界各地的活體收藏，天天都可以「偽出國」
9. 下班後看到路邊植物遭受病蟲害，會突然職業病發作想為它們看診，但不會拿藥去噴

延伸閱讀：

- 彭鏡毅（2018）。為愛走天涯 踏覓秋海棠。城邦文化
- 開放博物館——生物多樣性研究博物館



# 從魔戒森林到借物少女：野地到實驗室的苔蘚植物及真菌研究

撰文：陳可萱助研究員（本院生物多樣性研究中心）

▲潮濕多雨的中研院院區為賞苔及苔蘚生真菌的好去處。圖中有走燈苔、小毛蕨、絲狀里肯菇（*Rickenella fibula*）、佛氏通泉草，及黃花酢醬草互相點綴，為早春院區角落的美麗風景。（攝於中研院跨領域科技研究大樓旁小徑，陳可萱）

中研院也有借物少女（男）？在本院生物多樣性研究中心陳可萱助研究員的實驗室裡，就有一群研究人員，經常穿梭在潮濕又崎嶇難行的森林與溼地裡，只為了採集迷你的苔蘚植物及真菌。本文將由這些科學家們為大家示範在野地採集迷你植物及真菌的好本事，並一起來認識這些常被大家忽略在腳邊的可愛小生物。

## 實驗室都研究些什麼？

我們的「真菌植物共生實驗室」致力於釐清兩大類的問題：一、是哪些真菌住在苔蘚裡呢？是否有未曾發現的真菌物種，而這些物種在演化上與其他真菌有何關聯？二、真菌與苔蘚彼此為對方帶來什麼影響？在環境變遷影響下，苔蘚與真菌是否能相互扶持共度難關？為了解以上研究問題，首先來認識本文的主角——苔蘚與真菌。

## 研究對象一：苔蘚

你曾經注意過從室外停車場地面縫隙或牆角鑽出的綠色小傢伙嗎？或是行道樹樹幹上、森林地面及枯木上的綠色地毯？在每日的生活中，不論在都市或野地，你很容易會與矮小的苔蘚植物（Bryophytes）不期而遇！由於苔蘚植物不具有維管束，無法在陸地上長得太高，但儘管尺寸迷你，苔蘚植物卻普遍存在於所有陸地生態系中，也在植物演化史中佔有相當特別的位置。

## 研究對象二：真菌

真菌是什麼？最常遇見真菌（fungi）的場景就在餐桌上。香菇、金針菇等是真菌；有時餐桌上吃剩的橘子、吐司發霉而長出黑色或墨綠色的毛狀物，也是真菌。而更多時候，真菌是以肉眼不可見的微小型態存在我們身邊的。

## 苔蘚 + 真菌 = ?

為何要同時研究苔蘚與真菌？在自然界中，所有植物都與微生物們（包含真菌）共同生存，苔蘚也不例外。當兩種截然不同的生物生存在一起，勢必會互相影響，究竟苔蘚植物與真菌是不是完美搭檔？這兩個角色的共同生存也開啟許多未知的問題。



▲真菌（盔孢傘屬 *Galerina*）自泥炭苔屬（*Sphagnum*）植物體長出（陳哲志攝）

## 走入迷幻魔戒森林的採集日常

為了研究苔蘚及真菌，實驗室成員有許多階段的任務需要完成，首先，為了收集並觀察研究材料，我們必須走進自然野地。



▲當見到迷你可愛的苔蘚及真菌，研究者雀躍的同時，多階段的研究任務也開始啟動！（王文宏繪）



▲鴛鴦湖自然保留區古老而濕潤的雲霧森林中，苔蘚覆蓋了地面及枝條，彷彿賦予了森林魔法（吳泓熹攝）



▲行走於草埤濕地中由泥炭苔形成的浮島之上，載浮載沉（陳哲志攝）

我們的研究場域主要包含臺灣的雲霧森林及山中濕地。每一次的採集行程除了採集的各種工具，我們也須攜帶能夠記錄、保存生物樣本的裝備，此外，也要注意在山區工作的安全及保暖。



▲兩到三天採集之旅的打包清單！（卓家安、張瓊之、陳哲志、王文宏攝）



▲研究團隊常常需要跪趴在地面採集真菌或苔蘚（陳哲志攝）



▲在濕地中工作，互相幫忙搶救陷入泥沼的雨鞋也是一種日常風景（陳可萱攝於陽明山國家公園翠翠谷）

採集到目標樣本後，後續的樣本處理就要馬上展開。由於菇類容易腐爛，研究團隊經常就近在旅館或工作站內利用果乾機進行菇類烘乾、採集資訊的整理，及照相的工作，苔蘚樣本也往往需要很快的處理才能確保材料可用做後續分析，通常會存放於可攜帶的液態氮桶中。

由於苔蘚及真菌通常都很矮小，我們時常必須貼近土地才能觀察、攝影，並且採集它們。但有時，我們也會在沒有其他裝備的情況下在樹上或岩壁上發現驚喜，此時就需要實驗室夥伴的協力合作。而在濕地採集時，奮力拔出雨鞋的情景也是採集活動要面對的日常。



▲有時，苔蘚或菇類偶然出現在高處，需要夥伴互相幫忙才能採集及記錄（張瓊之攝）



▲採集完，精疲力盡的實驗室夥伴及旅館內滿滿正在陰乾或烘乾的真菌標本（張瓊之攝）

## 回到實驗室，培養、觀察、分子生物學操作

苔蘚及真菌材料若能培養種植，我們便可以設計後續各種操作實驗。因此，從野外回到實驗室後，必須馬不停蹄的從苔蘚植物體中，進行真菌菌種分離及保存，主要步驟包含將苔蘚表面消毒，再將苔蘚組織放置於含有營養素的洋菜培養基上，除了真菌，我們也會盡可能將苔蘚以無菌的狀態培養下來。



▲從苔蘚植物中常能培養出多樣多彩的真菌菌種，如同萬花筒下的世界一般美麗，而這些真菌產生的次級代謝物也有潛在應用價值（卓家安攝）

由於苔蘚及真菌的鑑定往往仰賴顯微構造，所以顯微鏡也是實驗室內不可或缺的熱門儀器。

此外，我們也利用苔蘚及真菌的遺傳物質來釐清它們的類群及功能，因此，分子生物學的操作，以及後續的生物資訊分析，也是研究過程重要的一環。



▲於無菌操作台內進行真菌分離，培養於洋菜培養基上（陳可萱攝）



▲解剖及複式顯微鏡為研究苔蘚及真菌不可或缺的儀器（陳可萱攝）





▲研究人員正在進行分生實驗操作（陳可萱攝）

生物的世界複雜而迷人，從辛苦的野外觀察、採集，到細膩的實驗室內顯微及分生操作、資料分析，都是更了解這些生物互動，以及發掘未來應用性的關鍵。每一位實驗室成員在各司其職的同時，也仰賴彼此的互相協助。

### 苔蘚共生真菌——跨界交流的啟發

我們團隊目前的研究著重於：一、真菌的養分利用模式，二、真菌群聚受環境變化的影響，以及三、苔蘚共生真菌對其他植物的影響。

真菌就跟人類一樣無法行光合作用，需要從外界獲取養分。我們的研究顯示部分苔蘚共生真菌具有多種養分利用模式，例如：能以腐生（分解衰老植物組織）及寄生（從活體植物轉移光合作用產物）的方式存活，打破既有對植物共生真菌的營養模式分類。接下來研究團隊也會繼續致力於了解更多不同與苔蘚共生的真菌類群之營養模式。

從生物演化歷史來看，苔蘚是最早適應陸地環境的植物，在現今的地球上，苔蘚可生存於最乾燥的沙漠以及最寒冷的極區，其獨特的真菌夥伴被推測為協助苔蘚抵抗逆境的功臣。研究團隊也在相對脆弱的生態系（如：雲霧森林）中，試圖了解苔蘚共生真菌群聚的變化。

我們的研究顯示，部分的苔蘚共生菌能促進苔蘚生長。由於苔蘚廣泛存在，這些苔蘚共生真菌對周遭植物是否也有相似的影響與作用？若是如此，在面對環境變遷挑戰的當下，苔蘚共生真菌未來可能可以應用於促進作物生長或增強其逆境抗性。

## 身邊的苔蘚及真菌

其實，苔蘚及真菌的觀察不假遠求，除了走入山林外，在城市中也有他們的蹤跡。例如：潮濕多雨的中研院院區內就有許多的苔蘚生長，只要下過幾天雨，與苔蘚共同生存的菇類就會紛紛冒出頭。若讀者願意靜下心來瞧瞧這些迷你的小生物，相信會有驚喜的發現！



▲真菌及苔蘚就在我們身邊！圖為盔孢傘屬（*Galerina sp.*）真菌從走燈苔編成的綠色地毯中冒出。（攝於中研院跨領域科技研究大樓旁小徑，陳哲志攝）



# 迷你腦、大啟發！——開箱中研院 「腦迴路與行為實驗室」

撰文、圖片：林書葦副研究員（本院分子生物學研究所）

▲平常很少仔細觀察的果蠅

提起果蠅，想必大家都不陌生，可能還覺得有些厭惡。但你知道這不起眼的小小果蠅竟然可以為人類解開許多大腦之謎嗎？分子生物研究所林書葦副研究員將帶大家深入本院的「果蠅大本營（Fly room）」——「腦迴路與行為實驗室」，一睹關於果蠅的各種樣貌，以及身為果蠅科學家的研究生生活。

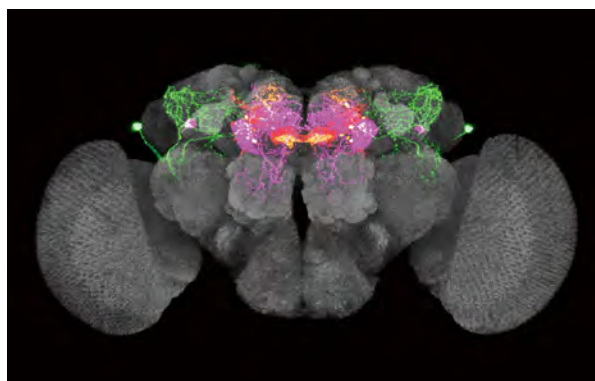
我們的「腦迴路與行為實驗室」位於院內跨領域大樓八樓，目前成員有六位博士生、一位碩士生及兩位研究助理，是個活力充沛的中型研究團隊。我於美國麻州醫學大學就讀博士班時，主要研究神經系統的發育；取得博士學位後，於英國牛津大學進行博士後研究，鑽研學習與記憶的腦迴路機制，並於2015年任職中研院分生所，持續探究腦迴路的功能與建構。



▲實驗室合照，後排右一為林書葦副研究員

## 我們都在研究些什麼？

實驗室所使用的模式生物是「果蠅（*Drosophila melanogaster*）」。果蠅被使用在研究上已有百年的歷史，累積了許多強大的遺傳學工具，讓我們能夠自由開關果蠅身上的每個基因，甚至操控腦中的每個神經細胞。我們希望能夠利用這些工具，解開人類大腦的奧秘，深入了解腦神經迴路在發育的過程中如何被精準地構築；腦神經迴路成熟後，又是如何計算、統整訊息，並精巧地控制行為的產生。



▲果蠅的腦，部分神經用免疫螢光法染色。

## 研究不是工作，是一種生活方式

做研究通常是不能朝九晚五的。實驗室的研究人員必須要配合果蠅的生理週期和實驗的排程來進行，有些實驗一但開始就不能停，必須小心翼翼地守候著結果。即使不在實驗室，大家也是心心念念地思考研究的走向、想著早上那令人摸不著頭緒的實驗結果，或因解決了一個研究問題而興奮的睡不著覺。在我們的實驗室，研究和生活的界線很模糊，研究不像是工作，更像是一種生活方式。

實驗室的燈光每天早上八點不到就被點亮，大家陸續到來。大部分的人到實驗室的第一件事就是從飼養管中挑出尚未交尾過的「處女蠅」。為了培育出帶有特定基因型的果蠅，必須確保在配種時母果蠅還沒有跟其它公果蠅交配過。母果蠅一般在羽化後的六小時內是不會交配的，而這段時間內的母果蠅帶有一些特別的形態表徵，有經驗的研究者，可以一眼就從數十隻的果蠅中把這些處女蠅找出。

一般而言，處女蠅的體色較淡，翅膀和腹部的形態也不同。例如：下圖右上角的處女蠅剛破蛹而出，頭頂較尖，且翅膀尚未張開；右下的處女蠅也才羽化不久，翅膀已張開，腹部有個明顯的黑點，是所謂的「胎便」，但胎便在羽化之後不久，母果蠅尚未性成熟時就會被排出。最難分辨的就是左下角的處女蠅，牠雖已幾乎不具上述特徵，但也仍未達性成熟可交配的階段，要能正確認出這個階段的處女蠅，需要一雙火眼金睛。



▲左上角是交配過的果蠅，另外三隻為處女蠅。讀者分辨得出來嗎？

揀選完果蠅後，大家就開始各自的實驗與任務——在果蠅房照顧果蠅、在行為小間訓練果蠅、在雙光子顯微鏡前觀察果蠅腦中的螢光訊號，及用攝子和顯微鏡小心翼翼地解剖果蠅腦。

「解剖顯微鏡」是果蠅實驗室必備的工具，下方的白色平台接著二氧化碳管線，微量釋放的二氧化碳能讓果蠅安睡在平台上，讓研究者能夠輕易地用「羽毛筆」把不同性狀的果蠅分開。有趣的是，因為成天在顯微鏡下把果蠅推來推去，所以果蠅研究者又被暱稱為「Fly Pusher」。

## 實驗室的「秘密武器」

### 一、T型迷宮

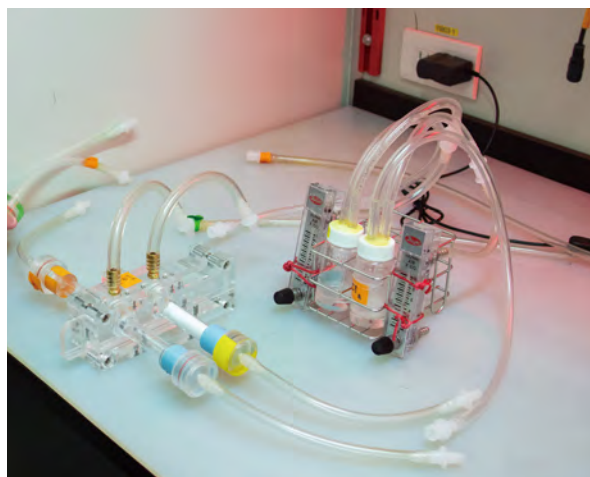
「T型迷宮」是用來訓練果蠅產生嗅覺記憶的裝置，我們用它來研究記憶形成的神經機制，也用它來了解腦迴路如何利用習得的訊息下決定。T型迷宮分為上、下兩層，中間有個升降台，讓果蠅能在兩層間被運送。上層可以裝上一根管子，下層則可裝左右各一根，管內可各別導入不同的氣味。



▲恆溫並固定光照周期的果蠅房，可容納上萬株果蠅。

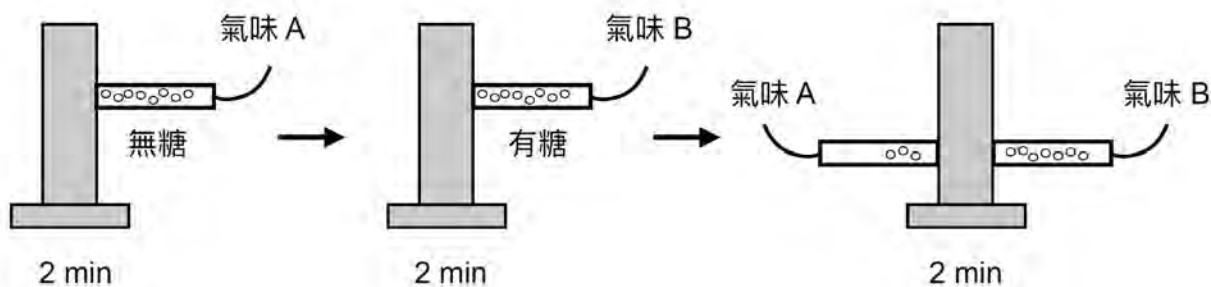


▲左圖為實驗室人員操作解剖顯微鏡挑選特定性狀的果蠅。右圖為分類果蠅用的羽毛筆和解剖果蠅腦用的攝子。



▲訓練果蠅的T型迷宮

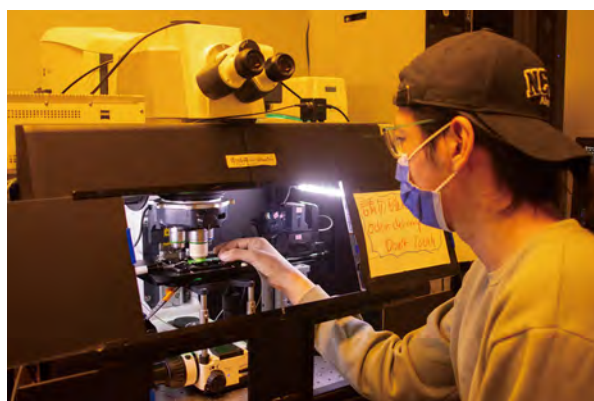
實驗室中最常做的訓練是讓果蠅學會食物和特定氣味的關連性，方法如下：首先把餓了24小時的果蠅放入上層的管子中，給予兩分鐘的氣味A，再把果蠅放入另一根裝有糖片的管子，一樣裝在上層，給予兩分鐘的氣味B，此時果蠅應會學到：「氣味B代表有糖吃」。要測試果蠅的學習結果，就把果蠅用升降台送到下層，下層的兩根管子一邊給氣味A，另一邊給氣味B，此時學習成功的果蠅會去選擇有氣味B的管子，其它果蠅則會在兩管子間隨機跑動。一般而言，80%的果蠅在兩分鐘的訓練後都能正確選擇氣味B。



▲T型迷宮訓練過程示意圖

## 二、雙光子顯微鏡

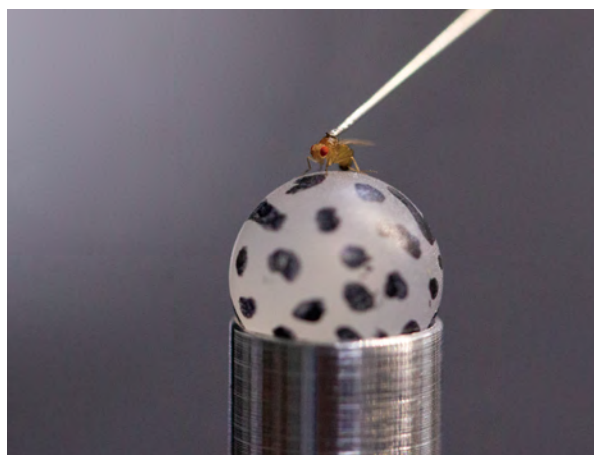
雙光子顯微鏡利用光學原理，把果蠅腦在不受損害的狀態下切成一層層的「光學薄片」，單獨收集每一層的光學訊號後，再重組成高解析度的完整大腦影像。我們每天用這台顯微鏡觀察果蠅腦中的神經細胞形態，或在活體果蠅中觀測大腦的動態訊號。



▲研究人員操作雙光子顯微鏡

## 三、果蠅跑步機

為了能觀測到果蠅活動時的大腦訊號，我們架設了一部「果蠅跑步機」，讓果蠅走在一顆用氣體懸浮的球上。果蠅走在球上時，球轉身不動，所以我們可以把果蠅的頭固定在顯微鏡下觀察大腦的神經訊號。球的滾動速度和方向可被轉換成二維的移動軌跡，也可透過電腦來控制氣味管的移動。簡單的說，是一個果蠅的虛擬實境（VR）系統，可用來研究行為和腦迴路之間的互動。



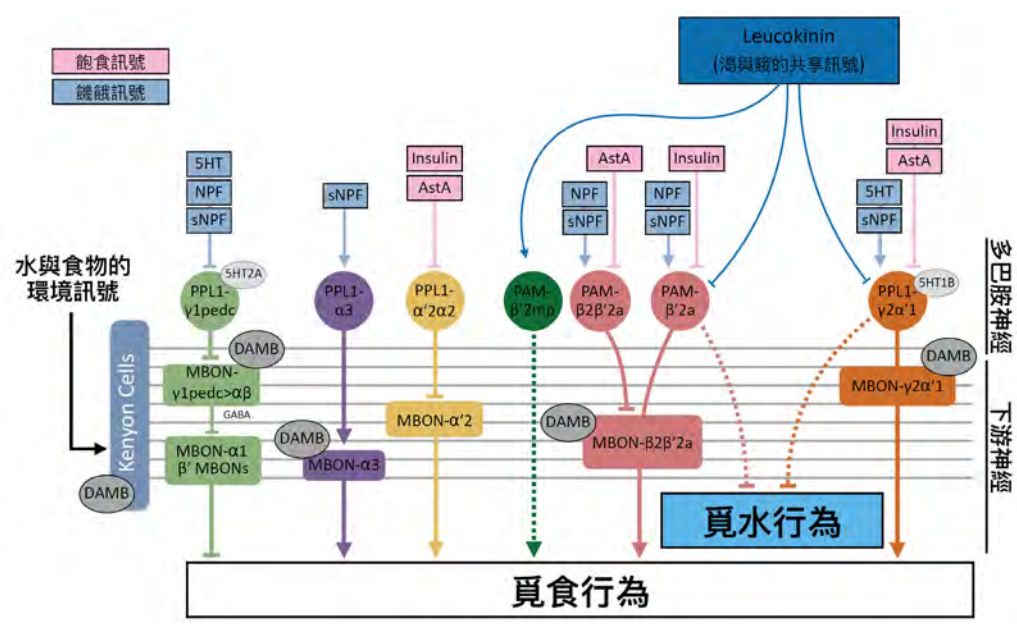
▲為果蠅設計的跑步機

## 迷你腦、大啟發

果蠅和我們一樣，餓了會找食物吃，渴了會找水喝。但「餓」是什麼？「渴」又是什麼？它們如何控制大腦的運作、影響行為的決策？研究這些問題的神經迴路機制，能幫助我們更深入了解大腦如何即時整合、評估來自生理與外在的訊息。

研究團隊最近的研究發現，果蠅腦中的多巴胺系統能夠直接接收因飢餓或脫水而產生的「餓」、「渴」訊號，並根據這些訊號的強弱來調整多巴胺在腦中不同位置的釋放，多巴胺進一步藉著改變神經細胞間的連結強度，來影響下游神經迴路中訊息流動的方向。這解釋了為何果蠅在不同的生理狀態時，會有不同的行為反應。多巴胺系統在演化中高度保留，因此類似的神經迴路機制極可能也存在我們的腦中、控制我們的行為。

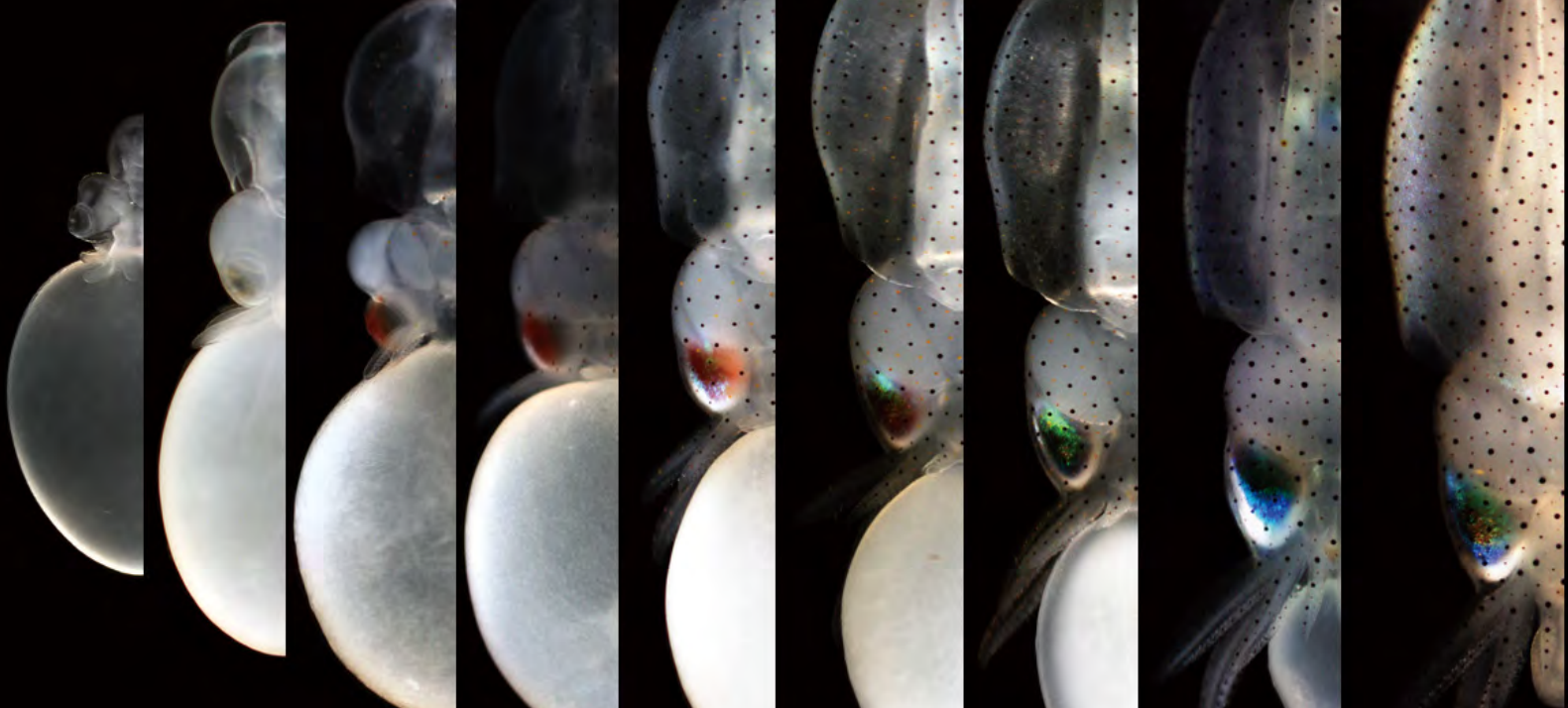
未來，實驗室將繼續研究多巴胺系統是否能整合「餓」與「渴」之外的其它生理狀態，並深入了解其下游神經迴路的運作原理。這個研究只是實驗室中許多有趣研究的一小部分，有興趣的讀者，歡迎來實驗室看看，體驗果蠅迷你腦的魅力！



▲果蠅腦中的多巴胺系統

延伸閱讀：

- 〈大腦如何操控渴與餓的行動？小小果蠅來解密！〉，「研之有物」
- 〈人生而有欲，果蠅呢？〉，「中研院訊」



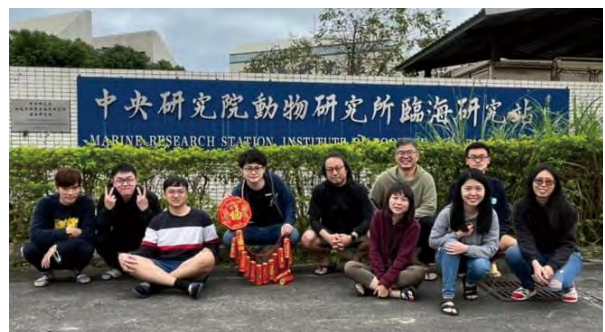
## 探尋海洋生物面對環境變遷下的生存之道 ——開箱中研院「海洋個體生理學實驗室」

撰文、圖片：曾庸哲助研究員（本院細胞與個體生物學研究所）

▲不同胚胎幼體發育階段的萊式擬烏賊

中研院的「海洋個體生理學實驗室」，位於宜蘭礁溪，也是本期開箱的實驗室中，距離南港最遠的神祕基地。裡頭聚集了一群對海洋生物充滿好奇與熱情的研究人員，還設有100噸、深達4米的巨型池！實驗室裡面在研究些什麼？為何要將基地建在宜蘭的臨海區域？需要坐船出海或潛水、與大自然搏鬥嗎？種種問題，就讓中研院細胞個體生物學研究所曾庸哲助研究員為大家親自揭曉答案吧！

當浪花潑灑在沙灘上，你是否曾好奇那些急忙躲進沙洞中的小動物們，怎麼能夠及時感知即將到來的浪頭？怎麼能夠知道該躲進哪個巢穴？怎麼能夠在陰暗缺氧的坑道中維持活力？我們位於中研院宜蘭礁溪臨海研究站的「海洋個體生理學實驗室」中，就聚集了許多對於海洋水生生物充滿好奇的「陸地生命體」——研究人員。



▲曾庸哲老師（左5）與海洋個體生理學實驗室成員



## 尋找海洋生物的生存之道

因為靠近海，所以研究團隊清楚了解：棲息在隨時面臨劇變的海洋水系統環境中，生物的生理機制永遠瞬息變換，細胞與核酸的調控經常沒有一定的規律。而生命來自於海洋，所以，實驗室人員嘗試運用各種研究策略，在各種「水生物」中，找尋一丁點可能的「潛規則」。

我在國立臺灣大學就讀博士班期間，使用水生動物的模式明星物種——斑馬魚，進行有關醣類穿膜通道蛋白的「顯學」工作。在退伍後，卻踏上另一條「非顯學」的道路，進入當時的德國萊布尼茨海洋科學研究所（IFM-GEOMAR），投入氣候變遷的研究範疇。

## 具有臺灣環境特色的研究對象

我們反思了過去百年人類文明與科學的發展，雖帶來進步，但也迎來了大自然的反撲。過去的生命體在地球長期相對穩定的環境框架下，演化出的細胞與分子調控規律及「遊戲規則」，在氣候與環境短時間產生鉅變後，會在人為操控與生物演進中消逝殆盡，抑或發展出另一套能夠隨環境變化自如、相異或者是趨同的「生物智能」及適應法則？

為了回答這樣的問題，我們的海洋個體生理實驗室，研究的物種不僅限於細胞分子平台發展穩定的模式物種，還有擁有高智能，被暱稱為「海洋靈長類」生物的「頭足類動物（烏賊）」，能在臭水溝小池塘淺灘地掙扎的魚類——「吳郭魚」，以及具備抵抗極端高硫、高酸棲地的甲殼類生物——「烏龜怪方蟹」這些充滿臺灣環境特色的物種。

## 高IQ的海洋靈長類生物——烏賊

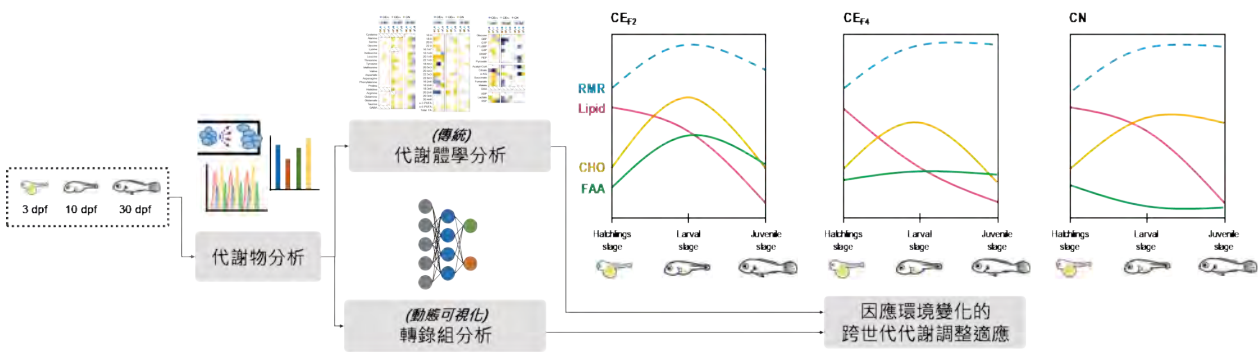
海洋環境的酸化與氣候暖化，可能影響烏賊的胚胎發育、呼吸代謝，以及體液離子的平衡。中研院臨海研究站是全球少數可以進行頭足類生物跨世代養殖的研究單位，設有100噸、4米深的巨型池，從幼苗時期適口餌料的投餵，到成體時期交配空間的設計，為研究團隊提供了觀察頭足類動物成長與生活史、生理與行為反應的絕佳場域。



▲萊式擬烏賊在巨型池內產卵與護卵的行為觀察

## 餐桌上常見的吳郭魚

氣候變遷造成全球暖化，冬季寒流、低溫發生的頻率近十年來逐漸降低，研究團隊針對此現象，發現暖化現象會造成臺灣的養殖吳郭魚產生如同「溫水煮青蛙」的效應，魚類會逐漸喪失重要的代謝調整機制，一旦副北極效應造成超低溫的「霸王級寒流」來臨，魚類就會因為代謝失衡而無法及時進行生理調整，造成個體死亡。由於臨海研究站座落於宜蘭縣重要的「大塭養殖漁業生產區」，研究團隊從不同於以往在環境變遷議題運用數據模式模擬，可為臺灣本土的熱帶養殖魚種，提供實質的應用參考。



▲跨世代解析吳郭魚的代謝動態調整

## 每天泡湯的烏龜怪方蟹

烏龜怪方蟹棲息於龜山島東南側海底火山周邊，是一個高酸、高硫化物的極端環境，因此，棲息在此地的生物一定具備異於其他物種的生理適應機制。龜山島的海底火山生態系，也成為瞭解生物適應於各種環境緊迫的「天然實驗室」。由於臨海研究站緊臨烏石港，可做為前往龜山島進行海底火山生態系研究的最前端實驗單位，在海底火山取得的珍貴物種，如烏龜怪方蟹，也會被養殖在此進行各種生物實驗。



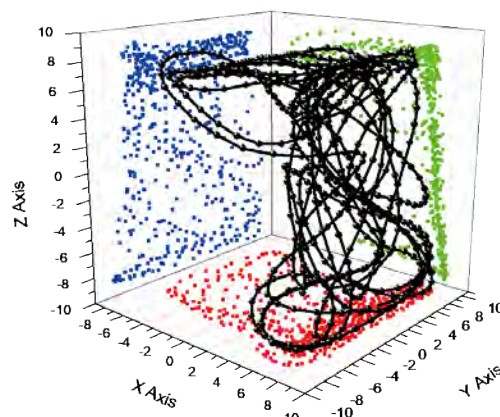
▲臨海研究站養殖系統內馴養的烏龜怪方蟹

## 包羅萬象的研究材料

這個年輕、非傳統生物實驗室的研究材料，不再只是關在標準化循環水架中的生物，研究設備也不限於以往實驗室必備的顯微鏡、微量注射、即時核酸定量與基因敲除設備等。還需要為了採集、養殖等工作，準備氣體鋼瓶、扳手、電纜、更多元的動物飼料、針對不同物質開發出特定的核酸萃取套組，還有從來沒有晾乾過的動物運送箱、活體代謝偵測槽，以及隨時準備出動入海的防寒衣。



▲水生動物泳動行為影像3D追蹤設備，包括鏡頭腳架、3D滑軌、雷射定位、光源校正等儀器



▲3D追蹤影像之時間與空間整和數據分析示意圖，可了解水生動物泳動行為軌跡

本實驗室成員，除了在實驗室中觀察顯微鏡、跑電泳、算數據、寫報告，更常出現在龜山島著名的牛奶海水下方17米處採集樣本、在臺南魚塢旁觀察動物進食、在屏東小溪邊頂著烈日撒網捕魚、在馬祖南北竿海域間捧著儀器進行生物水質勘查，或是出現在日本九州南方海域的研究船上，一邊忍受暈船、嘔吐，一邊抽取來自樣本的核酸。

當動物從水下被捕捉上船，可以立即在研究的分子生理室進行實驗操作。實驗室內除配有新鮮淡水、海水，可進行動物的短期馴養與環境適應實驗；亦配備低溫與極低溫冷凍設備。此外，實驗室內配置的電源、光源、與供氣系統穩定，可提供呼吸代謝生理與生化分析實驗長時間的操作，所得的第一手動物基礎生理反應數值也較為穩定可信。



▲在日本科學研究船「南星丸號」內，即時進行動物生理檢測

因為研究對象不再只有動物，而是環境與生命體共存的「共生體」，實驗室的工作也就不再只是將動物從水中撈出來，放在顯微鏡下觀察，那些圍繞在動物週邊環境的水、底泥石塊、細菌，全成了這個實驗室的樣本。研究人員除了要懂得分析水中各樣指標，包含：溫度、酸鹼值、溶解碳、溶解氨等例行公事，還要了解動物在不同環境中的行為、代謝方式，因應環境變化而存放在細胞轉錄體與修飾區位的特徵也要一併了解。最後這些龐大又充滿不同性質的數據，會藉由機器學習來進行深度解析，產出最後的研究結果。

### 找出生命的無限可能

從現今已出版的研究報告中可以得知，有些動物得以在細胞層次適時地進行代謝與體液離子的生理調整，但環境波動一旦失序而超出生物細胞耐受度，那些生命體演化過程發展出的「潛規則」將不再適用，某些物種也許將消失或被迫遷移離開棲地，造成生態系統的失衡。

而研究團隊的工作就是：了解生物耐受的界線為何、生命體展現出的可塑程度，或是因應環境變遷可能演化出哪些「新規則」。這些環境與生命體的交互關係，或許就是地球永續發展的關鍵密碼！

延伸閱讀：

- 〈世間險惡！海洋生物透過「代謝能力」保小命〉，「研之有物」



## 蔚藍廣大的夢幻實驗室 ——解開珊瑚與海龜的生態之謎

撰文：馮加伶（本院國際研究生學程博士生）

▲居住在珊瑚礁生態系中的物種，像是海膽、綠蠟龜及珊瑚礁魚類，都是實驗室的研究主題。（馮加伶攝）

提到「海洋」，你可能會想到湛藍的大海、白色沙灘和綠色椰子樹，最好再來杯沁涼的飲料，讓人心情愉悅。而在中研院，竟然有研究工作是每天投身大海懷抱，享受海洋生物的環繞。這樣結合海洋與研究的工作，乍聽之下相當夢幻，但是否真如此享受且輕鬆愜意？就讓編輯團隊帶大家來開箱本院生物多樣性研究中心野澤洋耕研究員的「珊瑚礁生態實驗室」吧！

### 蔚藍大海就是我們的「研究聖地」

大家是否曾去過海邊或小島度假放鬆呢？對「珊瑚礁生態實驗室」的研究團隊來說，這些都是我們進行生態調查的工作場所。幾次往臺東富岡漁港搭船的路上，司機都會問要去綠島還是蘭嶼「玩」？我們總要解釋並不是去玩，而是去做海洋研究，尤其當他們聽到研究人員除了會做研究，還要具備潛水能力後，更對我們的工作感到好奇且不可思議。



▲大海就是我們的實驗室（馮加伶攝）

「海洋」與「研究工作」的夢幻組合是如何開始的？就要從實驗室主持人野澤洋耕與海洋的相遇說起，野澤老師在日本沖繩讀大學時，接觸潛水與海洋研究，開始對珊瑚礁情有獨鍾。來到中研院之後，開始探訪臺灣各處潛水點。當時國內珊瑚生態研究和監測多集中在墾丁，而交通較不方便的離島——綠島和蘭嶼，相對沒有太多學術資料，不過這兩地珊瑚覆蓋率高，加上黑潮經過帶來清澈的海水和珊瑚種源，有著豐富的珊瑚礁生態。

因此，野澤老師選擇在綠島進行珊瑚生殖的研究調查，同時也在蘭嶼和墾丁進行長期珊瑚礁生態監測。並且希望透過國際合作將研究的地理範圍擴大至日本、菲律賓、馬來西亞、泰國、越南等地，希望能進一步瞭解西太平洋的珊瑚族群數量和群落動態。

除了珊瑚，在有著不同專長背景的成員加入實驗室之後，研究對象的多樣性也越來越高，居住在珊瑚礁生態系中的物種，像是海膽、珊瑚礁魚類及本文另一個重要研究對象——綠蠵龜，也都是我們想深入瞭解的主題。

### 收集大量資料所需的神兵利器

生態研究為了有效記錄、分析大量圖片及數據資料，需要許多工具來幫忙。實驗團隊最常使用的器材一定就是「相機」了！從戶外極限運動者幾乎人手一台的運動攝影機、防水相機、HDR數位錄影機，到能拍出高畫質又變化性高的微單眼相機等。這些裝備再加上防水殼、微距鏡和閃燈後，不論是微小的珊瑚蟲，或者廣闊的珊瑚礁，通通都能拍得一清二楚。而相機家族中的新成員是空拍機，用來從海面上記錄大型海洋生物的出沒地點和數量，並從相關的影像資訊推算海洋生物的體型大小。



▲珊瑚從口將精卵束擠出來，使用水下相機搭配微距鏡，還能拍出卵子（紅色）和精子（白色）的細節（馮加伶攝）

其實對研究過程而言，清晰的「影像收集」只是第一步，回來之後的資料整理和分析才是另一個重頭戲。例如要製作能提供更多細節、可用於精細測量的珊瑚礁樣區3D地圖，我們會用3D模型製作軟體（如：Agisoft Metashape）進行影像合成，把用GoPro拍攝的幾分鐘影片，分割成數千張甚至上萬張照片，再將影像重疊處合併建構成3D立體模式，再慢慢增加表面質地和細節。製作一張3D圖所耗費的時間，從數個小時到一整天都有可能！

大家較少見的器材可能就屬號稱「水中蛟龍」的「潛水專用電鑽」，電鑽夾頭可依需求外接起子、鑽孔鑽子或是洗洞鑽石頭等，讓野外實驗的設置和採樣變得更有效率，可以說是珊瑚礁調查實驗室必備的得力助手。



▲水下電鑽可用來採樣和架設實驗器材（蘇淮攝）

另一個特別的實驗用品就是「水位計」，長約15公分，有著銀色金屬外殼的棒狀物，能夠感應氣壓和溫度，內建記憶體，可以設定資料紀錄頻率，再透過軟體讀出，並將氣壓換算成水位深度的變化。「水位計」本身的功能並不特別，特別的點在於我們使用的方式。當研究團隊在做珊瑚礁底質調查時，會利用「水位計」紀錄珊瑚礁表面的複雜程度。用繩子綁住水位計的一端，讓它自然垂下，潛水員會拎著繩子慢慢前進，讓「水位計」貼著珊瑚礁表面跟著上下移動，把珊瑚礁的側面線條轉換成深度變化的資料。

介紹完研究的必備工具，接下來帶讀者認識我們的研究對象——珊瑚與海龜。

### 研究團隊期待的魔幻時刻——珊瑚揪團來產卵

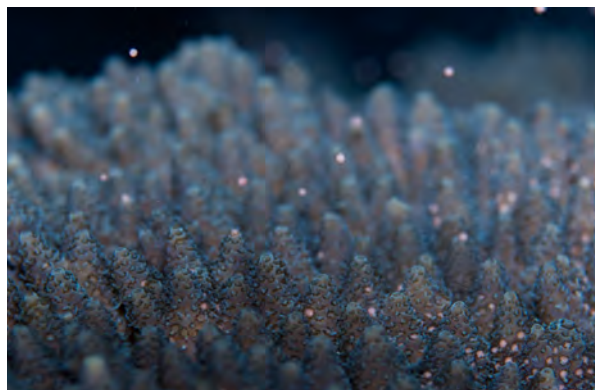
每年的四、五、六月，是調查綠島珊瑚產卵的關鍵時期。根據每次實驗目的和設計，每天通常都會潛水三至四次，包含採集實驗要用的珊瑚樣本、架設野外實驗所需道具，或者做珊瑚生殖腺成熟度的普查，還有夜間潛水——是觀察珊瑚「集體產卵」的魔幻時刻！

如何知道珊瑚什麼時候要產卵？「海水溫度」是促使珊瑚生殖腺成熟的先決條件，如果溫度足夠，生殖腺就會逐漸成熟，從白色變成粉紅、橘色、綠色等不同顏色。如果已經有成熟的生殖腺，那這株珊瑚在當月產卵的機率就很高。在做珊瑚生殖成熟度確認時，研究人員會輕輕地將珊瑚敲出一個小洞，檢查剖面，並觀察珊瑚蟲體內生殖腺的顏色來判定成熟度。



▲有著成熟生殖腺的軸孔珊瑚，粉紅色點點即為珊瑚的卵（馮加伶攝）

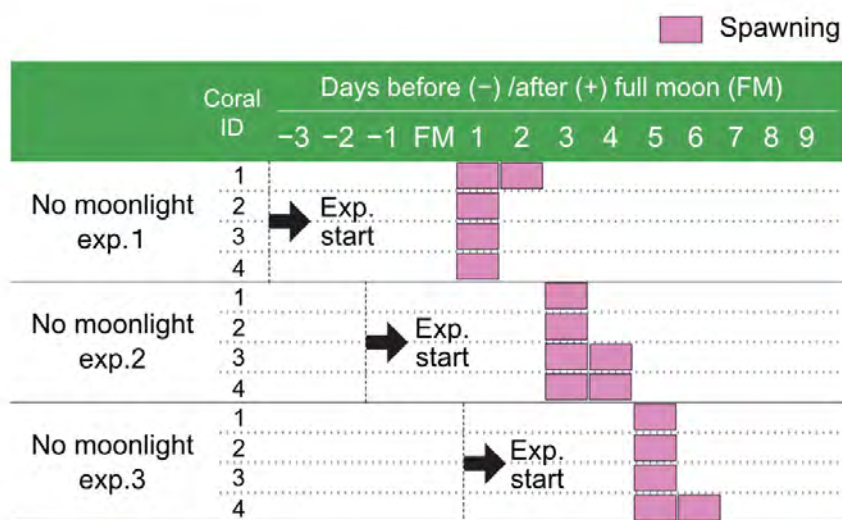
在南臺灣，大部分的珊瑚都在四、五月時成熟，接著在滿月過後的第二天到第八天晚上同步排精排卵，有些雌雄同體的珊瑚則會把精子和卵子包在一起，變成「精卵束」再釋放出來。為了確認珊瑚產卵的種類和時間點，在預產期那幾天的晚上，研究人員都會待在冰冷的海裡等待並拍照記錄，長期累積下來，才能更瞭解珊瑚的產卵時間點。



▲正在釋放精卵束的軸孔珊瑚（馮加伶攝）

### 來自月光的召喚！珊瑚同步產卵的調控機制

自從1980年代中期學者記錄到珊瑚大規模產卵之後，也越來越人關注珊瑚產卵的現象，但是直到最近，調控珊瑚同步產卵時間點的機制才逐漸被解開。透過長時間的野外觀察、野外實驗和水缸實驗，研究團隊發現在滿月過後，太陽落下到月亮升起之間的「黑暗期」是觸發環菊珊瑚（*Dipsastraea speciosa*）產卵的環境誘因。在實驗中，當實驗組珊瑚的夜間光源被連續阻斷四天後，就會誘發實驗組珊瑚在第五天晚上產卵。



Spawning always occurred at 5–6 days after the start of moonlight blocking exp.



▲野外實驗組利用不透光鋁箔罩阻斷月光，室內水缸組則用白色微光LED燈控制光源，無論野外或室內水缸的珊瑚都會在實驗開始後第五天和第六天產卵。此結果顯示滿月之後出現連續四天的黑暗期會觸發環菊珊瑚產卵。

圖片來源：Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(34), e2101985118, Lin et al. (2021). DOI: 10.1073/pnas.2101985118



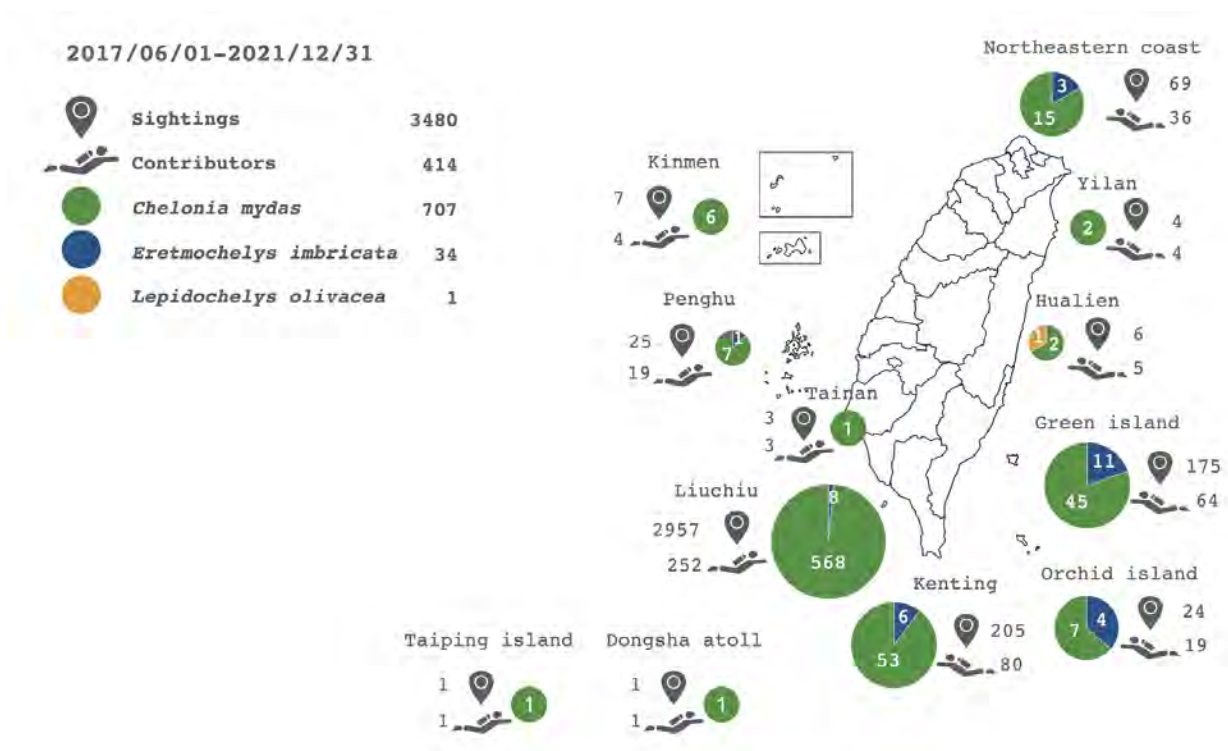
在自然界中，滿月過後的月亮會在日落之後才升起，而且依照月亮週期，月出的時間每天會延後50分鐘，因此日落月出之間的黑暗期會逐漸延長，我們推測這種每日逐漸增強的訊號，會使珊瑚偵測到正確的產卵時間並進行同步產卵。

除了環菊珊瑚，還有其他種類的珊瑚也有相似的產卵模式，牠們是否也有相同的產卵機制？這也是研究團隊接下來想要回答的問題。

## 海龜，你的名字是？結合公民力量進行「戶口普查」

相較於在海洋較深處、不太移動的珊瑚，要研究成天游來游去的海龜可就沒那麼容易。當研究團隊要調查海龜在覓食棲息地的數量和行蹤，會用浮潛的方式觀察在近岸覓食或休息的海龜，再慢慢接近、拍攝海龜的左右側臉和全身照。因為每隻海龜臉上的鱗片花紋都不同，加上是長期穩定的形質特徵，適合用來做個體辨識（photo identification）。

透過這種方法，研究人員就能在不碰觸海龜的情況下進行族群生態研究，也很適合發展成公民科學計畫，邀請大眾一起參與。所以研究團隊也跟公民科學家合作，透過社群平台收集海龜的目擊回報，用左、右臉特寫和全身照辨識海龜種類和個體，加上目擊地點和時間資訊，就能幫助我們了解臺灣沿近海域海龜的分布和數量。



▲臺灣近岸海域的海龜分佈圖。圖片來源：《海龜點點名》，馮加伶

公民科學家的回報以水下目擊活體為主，目前已記錄到742隻不同個體的海龜，而小琉球、墾丁和綠島是最容易目擊海龜的地方，種類以綠蠵龜為主。這些海龜中大約有40%會在這些地方定居超過一年，其中的62%為體型較小的青少龜，表示臺灣近沿岸是綠蠵龜成長發育的覓食棲息地。

瞭解野生動物的分布和數量是評估族群狀態的第一步，但海龜如何選擇棲息地？牠們對棲息地有多忠誠？又有哪些有趣的行為？還有很多好奇的事，研究團隊希望能透過長期研究，慢慢地解開謎團。

### 守護珊瑚與海龜的家

雖然研究過程看似有趣，又可以徜徉在美麗的大自然中，但背後也有許多不為人知的辛苦。夏天時忍受烈日曝曬，冬天時又得冒著凜冽寒風，泡在冰冷的海水裡，一待就是好幾個小時……可能已經讓你對這份夢幻工作的想像幻滅。但更重要的是，我們希望大家不僅了解研究人員的辛勞，更需要重視氣候變遷與海洋污染的問題，一起珍惜海洋，守護珊瑚與海龜的家。

延伸閱讀：

- 〈珊瑚為何會同時間大量產卵？關鍵在日落到月昇的黑暗期！〉，「研之有物」

### 編按

本文作者馮加伶為野澤洋耕老師的助理，又稱「海龜姊姊」，長期從事海洋研究及海龜保育，除了經常受邀科普演講，也藉由其經營的粉絲專頁，於社群平台號召民衆一起來紀錄海龜生態，建立屬於臺灣的海龜臉譜！



▲在水下遇到海龜時，記得先稍微放慢速度、觀察海龜的反應、尊重海龜的舒適圈，才能緩緩地拉近與海龜的社交距離（蘇淮攝）



# 出發！搭乘魚耳「石」光機—— 開箱中研院「海洋古生物實驗室」

撰稿、圖片：林千翔助研究員（本院生物多樣性研究中心）

▲實驗室珍藏的各種魚耳石化石

「魚耳石」是硬骨魚類耳朵裡的碳酸鈣結晶，它的重要性就像是哆啦A夢的「時光機」一樣，只要有一顆魚類的耳石或化石，就能得知其物種及生存環境。本院生物多樣性研究中心林千翔助研究員為臺灣少數的古生物學家，魚耳石及化石標本能告訴我們什麼事情？研究海洋古生物，又能夠如何幫助我們進行「現生」的保育工作？就讓林千翔老師親自來解密！

我們的「海洋古生物實驗室」，如其名般神秘的座落於中研院隱蔽的新溫室大樓內，研究團隊的研究領域包含了古生物古生態學、保育古生物學、海洋生態保育、魚類分類及魚類耳石形態學。

## 實驗室主要研究對象——魚耳石

魚類的「耳石」是硬骨魚內耳裡的碳酸鈣結晶，為魚類維持聽覺與平衡的重要生物硬組織，因其外部形態與魚類的親緣關係相當密切，所以有分類鑑定魚類的潛力，只要有一顆魚類的耳石，就能得知它所屬的類群。

耳石的碳酸鈣成分容易保存於地層中，並形成化石，因此耳石成為了解過去魚類多樣性等相關議題的絕佳研究材料。除此之外，也能藉由分析胃袋或排遺裡的耳石，了解許多海洋生物，如：鯨豚、水獺、鮪魚等大型食魚性動物的攝食生態。

我在學生時期就驚嘆於魚類耳石形態的多樣性，及其對科學領域的應用價值，尤其對古生物學方面的研究有很深的興趣。能從化石、耳石的研究中窺探古魚類群聚結構和古海洋生態，就像是坐上時光機一般悠遊於遠古世界。



▲各個魚種的魚耳石形狀與大小都不同

### 活跳跳的魚與沉睡多年的化石

古生物學的分析，經常需要與許多現生生物資訊進行對比，例如：研究類群的骨骼形態、地理分布、食性以及生態棲位，因此實驗室從材料採集到研究分析切分為「現生海洋生物」和「化石」兩大部分。

以研究主軸的魚類為例，我們經常背著冰桶在漁港採集魚類，除了攤子上漂亮的經濟魚種，更包含不起眼的底拖下雜魚堆。魚類標本處理，則有鑑定、形質測量、展鰭拍照、取耳石、採肌肉組織等。一整天下來，全身上下充滿久久不散的魚蝦「鮮」味。



▲從漁港或海邊收集而來的各樣魚類



▲回到實驗室進行魚類多樣性分類鑑定、測量、照相及解剖工作

魚耳石的收集與保存需要一些技巧，耳石位於硬骨魚的腦後，取出的方式根據魚體解剖構造的特性、耳石大小，來判定要從魚的頭蓋骨上方取出，或是自魚鰓深入腦腔夾取。後者較為困難，也需要相當經驗，好處是能維持魚體外部的完整，特別適用珍貴稀少的魚標本。

魚類耳石的大小及形狀差異很大，因此較大的耳石可以很輕易的取出，有些則需要配合顯微鏡操作，以尖細的鑷子翻找取出。取出後的耳石要先以水清洗，或配合超音波震盪，除去有機雜質，再依序置入離心管並送入烘箱乾燥，魚耳石收藏與建檔才算真正告一段落。

至於古生物學研究的對象——化石，就只能在野外採集。有時候需要背著笨重的地質錘行走於泥濘的山路上、拿著開山刀劈砍雜草野樹下切至河床，在河床採集完一袋又一袋的沉重的沉積物樣本後，再辛苦的背著它們攀爬上去。



▲耳石及化石標本典藏庫



▲沉重的野外調查器材設備



▲在河床進行化石的採集

不過化石出露的地點並非隨處可見，文獻上標出的地點經常雜草叢生無法抵達，或是早已開發成建築用地，所以我們經常需要仰賴民間化石玩家的化石點情報，並進行系統性的地質調查，例如：了解化石出露的層位——這關係到標本在地球歷史的時間座標；地層的岩石特徵、位態和沉積環境，以及是否有其他伴隨的生物化石等。

有時上山採化石、有時下至海邊收集魚類，一天之中山景、海景交替轉換，這就是海洋古生物實驗室的田野日常。

### 微觀鏡頭下的海洋古生物世界

有關魚耳石和化石的研究，實驗室裡最常使用的器材就是「顯微鏡」，無論是用來觀察大生物的微細構造，或是取得藏匿在岩石沉積物內的小小化石，都需要它們協助。

另外，研究室有一台專門掃描小化石的「3D自動掃描器」，機器會利用藍光光柵投射到化石表面，在短時間內快速捕捉並轉換成高品質的數據，再使用軟體的網格編輯功能，進行疊加影像進而組成3D模型。



▲野外採集地點經常是難以到達的溪谷、河床。有留意到畫面中超級迷你的研究人員身影嗎？



▲研究人員正在操作3D掃描器



▲3D掃描器成像後的黃姑魚耳石

除此之外，研究團隊也經常使用國家生技研究園區臺灣小鼠診所的 $\mu$ CT掃描儀器，結合這兩種儀器，可將研究從傳統的2D描述，躍升為3D結構的計算與分析。期望藉此能夠更清楚瞭解，這些化石形態在地質時間尺度中的變化，是否能夠反映生物的演化歷程。

實驗室目前正在建立魚類耳石的典藏庫，協助研究團隊更有效率地進行耳石分類鑑定的工作。這些標本透過與全球研究學者間互相交換，或親自前往採集而逐漸累積，來自各個不同的海域，雖然目前典藏庫還未具規模，但期望有一天能夠成為完整而有學術貢獻的資料庫。



▲實驗室中的魚類化石及現生骨骼典藏庫

### 魚類耳石與古生物化石要對我們說些什麼？

目前實驗室的研究方向有三個：一、全球海洋生物其多樣性以及演化在不同時空背景下的變化；二、以古生物資料重建原始生態群聚，提供保育之復育目標；三、應用 $\mu$ CT及AI等新技術於古生物學的領域，建立成熟的研究平台。

研究團隊現已大致掌握臺灣的化石產地及各種海洋生物化石的研究潛力，例如：利用沉積物裡的魚耳石，可以大概描繪出古海洋環境與現代海洋之間魚類多樣性的變化，再配合生態、地質和地球化學等資料，試圖找出背後成因，這些成果將有助於我們了解不同的海洋生物，將如何面對現今環境變遷與生態危機。

除了應用化石材料來探討生態問題，我們也對漁業與魚類的關係有很大的興趣，例如：過度捕撈是否會造成目標魚種族群產生結構變化？若缺乏能當成基準點、大規模漁業捕撈前的魚類資料，將使得漁業管理與保育的目標不易確立。這個時候，史前資料和化石標本往往是我們還原過去海洋生態的唯一途徑。

目前研究團隊正利用史前魚類耳石，包含不同地質年代、不同程度的人為漁撈壓力，回推目標魚種的成長模式，企圖量化商業捕撈與魚類族群結構的關係，期望能對於漁業和海洋保育之間的平衡問題盡一份力。

延伸閱讀：

- 〈解開古代魚類耳朵裡的「石頭」秘密！專訪古生物學家林千翔〉，「研之有物」