

科學發展

Science Development

545

NO. 中華民國 107 年 5 月

孕育大地生機的肥料

植物施肥的奧祕

肥料的發展及推進

友善環境的施肥方式

新世紀吸音材料—異型微孔吸音板

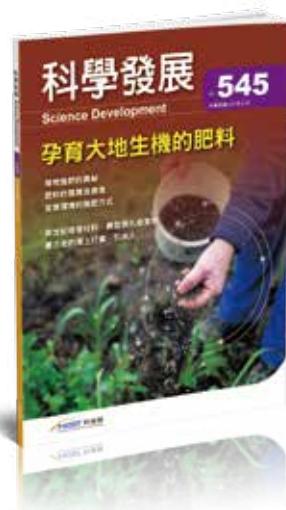
最古老的海上行業—引水人





科學發展

中華民國 107 年 5 月



出版者：科技部
發行人：蘇芳慶
地址：106 台北市和平東路 2 段 106 號
電話：02-2737-7539
傳真：02-2737-7248
網址：<http://ap0922.most.gov.tw/sd/>

編輯委員會

召集人：蘇芳慶
編輯委員兼榮譽總編輯：馬哲儒
編輯委員兼總編輯：張鑑祥
編輯委員兼執行編輯：許梅娟
編輯委員：方力行 / 王道還 / 李再長 / 李百祺 / 李秀珠 / 李國偉 / 洪茂峰 / 唐震寰 / 徐善慧 / 陳炳宏 / 黃文璋 / 蔡少偉 / 蔡聖鴻 / 顏嗣鈞 / 蘇安仲
助理編輯：張玉齡
編輯助理：黃利鑾 / 何欣穎 / 鍾美容

稿件投寄：稿件 1 式 3 份及電子檔，請寄《科學發展》月刊編輯部
地址：701 台南市大學路 1 號 成功大學化工系
電話：06-2383072 傳真：06-2383085
E-mail: nscm@email.ncku.edu.tw

美術編輯：種子發多元化廣告有限公司
地址：11054 台北市信義區基隆路 2 段 189 號 9 樓之 9
電話：02-23773689

印刷者：凌祥彩色印刷股份有限公司
地址：235 新北市中和區中山路 2 段 340 巷 26 號 1 樓
電話：02-22458163

定 價：每冊新台幣 120 元 1 年 1,200 元（2 年以上另有優惠價）
美金 5 元 1 年 50 元
運費另計

訂閱辦法：

- 五南網路書店：<http://www.wunanbooks.com.tw/>
- 郵政劃撥：
帳號：22255688
戶名：五楠圖書用品股份有限公司
電話：04-24378010
- 國外訂戶請以美金支票寄交本部（受款人：科技部）

展售門市

國家書店松江門市
地址：台北市松江路 209 號 1 樓 電話：02-25180207
三民書局
地址：台北市重慶南路 1 段 61 號 電話：02-23617511
五南文化廣場
地址：台中市中山路 6 號 電話：04-22260330

免費線上訂閱電子報：<https://www.most.gov.tw/>
中華郵政台北雜字第 2044 號執照登記為雜誌交寄

近年來在有機農業的發展趨勢下，友善土地的耕作方式成為熱門話題，肥料的使用對環境的影響因而受到重視，使得合理化施肥的觀念興起。植物生長所需的元素除了碳、氫、氧外，其餘的需要從土壤攝取，若有不足就需要施肥提供。然而要施什麼肥、用多少量，如何保持植物生長必需元素間的平衡，這些都是學問。

在農業生產過程中，肥料的使用和管理是重要的一環。適時、適地、適量的合理施肥除了能促進作物生長、提高產量與品質外，還能降低對周遭環境的衝擊。這種友善環境的施肥方式必須建立在對土壤特性的了解上，才能夠對症下肥，精確提供作物生長所需的要素，同時呵護我們的土地。

以往過度依賴化肥，在大量且不正確的使用下，產生土壤劣化、環境汙染等嚴重後遺症，改變大量使用化肥的習慣，以達到友善環境的永續農業目標，已成為共識。隨著科技的發展，製肥技術也不斷地進步，近年來研發的優質有機複合、生技肥料，不僅有促進土壤健康的功效，更能提升作物品質和產量，得以協助建構永續發展的農業。

在環保意識抬頭、食品安全觀念提升，以及有機與友善環境耕作農業政策的推動下，微生物肥料的開發及應用特別受到重視。藉由微生物肥料可促進化學肥料的利用效率，以降低其使用量，也能適當補充土壤有益的微生物，以改善土壤劣化情形，在農業永續發展中將扮演重要的角色。

碳纖維雖然有很多的優異特性，但也有它的一些致命傷。然而在人類無限創意的努力下，解決這些問題以進一步擴展碳纖維的應用範疇指日可待。

我們的生活周遭隨處可見聲學、光學的現象，透過對隱藏在這些現象背後基礎理論的深入了解，加上巧思運用，便可以開發出改善生活品質的創新技術及產品，新型消音材料就是一例。近來運用非線性光學的原理，也陸續發展出一些創新的應用，讓光學這門古老的學問顯得更為活潑。

一般民眾大都不了解引水人的執業內容，其實他承擔了影響港埠運作成敗的重責大任，更肩負著把世界引進台灣，以及把台灣引向世界的重大使命，他的工作甘苦值得大家一探究竟。

立足台灣放眼世界的唐獎，得獎人雖然在不同的領域服務人群，卻都觀察到時代的需要，並以專業能力做出突破性的貢獻，是藉由研究創新增進人類福祉的典範。





01 編者的話

目錄

專題報導

04 孕育大地生機的肥料

黃耀興

06 植物施肥的奧祕

潘詩怡

葉面施肥的養分利用效率高達 95%，且葉片背面氣孔較多，因此施肥時會多噴些在背面。

10 肥料的發展及推進

陳冠文

合理化施肥，適度添加植物性有機質肥料，再搭配化學肥料，以適時、適量、適作地施肥。

14 友善環境的施肥方式

楊維哲

當土壤酸鹼度維持在中性時，正常施肥量就能促進作物生長。

20 肥料的製造技術

邵豪華

把泥炭土摻入化學肥料中製成有機複合肥料，能取代化學肥料，也能改善土壤環境。

26 微生物肥料的妙用

吳珊如

微生物肥料需接觸到作物根系才易表現出顯著效果。

30 有機驗證及栽培管理

吳鴻均

抑制病原菌及提高作物抗性，是有機栽培防治病害的大方向。

一般報導

36 碳纖維原本不是一根碳

黃博雄

碳纖維很難生產，但應用很廣，具有強度、模數的優異性，耐疲勞性及尺寸安定性佳。

**09****31****64**

- 42 新世紀吸音材料—異型微孔吸音板** 許榮均、陳智隆、呂世明
它不怕水、火，質輕而耐久，擺脫了吸音材料長年依附多孔質材的限制。
- 51 非線性光學—改變傳統雷射輸出頻率與其應用** 王寵棟
非線性積體光學是熱門研究題目，追求在單一晶片上完成雷射產生、波長轉換等。
- 58 最古老的海上行業—引水人** 方信雄
引水人的引航作為可展現國家海運發展與素質，因而被稱為把守海上國門第一人。
- 65 唐獎得主—引領 21 世紀永續發展** 宋承恩
唐獎具有科際整合特性，更要求研究的創新能增進人類福祉。

台灣新發現

- 72 基因修得好 同源重組不可少** 郭朝禎
- 74 液晶的應用—生化快篩新技術** 涂煥昌

科技新知

- 76 甘藷的起源 / 脂肪與生理時鐘 / 溫泉降壓 / 雙贏的條件 / 諾羅病毒 / 藝術的愉悅** 王道還

科學、技術與社會

- 80 醫學崩壞從何說起** 李尚仁

孕育大地生機的肥料

黃耀興 | 專題報導特邀編輯
台灣肥料股份有限公司

台灣肥料股份有限公司創建於 1946 年 5 月 1 日，原屬國營事業，在國營時期配合政府農業政策，負責製造供應國內肥料產品，歷經超過 70 年的經營發展，建立了我國最具規模的現代化肥料生產技術與流程，於 1999 年 9 月 1 日正式移轉民營，並成功轉型為股票上市的民營公司。

台肥「農友牌」肥料系列產品每年供應國內市場約六十餘萬公噸，占國內總需求量的 7 成以上，並進口轉售液氮、工業級尿素等產品。此外，也製造硝酸及電子級化學品供銷國內外市場。為因應快速變遷的經濟環境及產業趨勢，台肥除了不斷積極提升研發創新技術及強化核心競爭力之外，更多元經營不動產開發、健康生技等事業，以期開創新局面，永續基業。

農業是國家發展方向中至為重要的一環，惟有奠定糧食生產的基礎，始能確保民生供給無虞。2016年聯合國正式啟動17項永續發展目標（sustainable development goals, SDGs），其中永續目標二「消除飢餓，達成糧食安全，改善營養及促進永續農業」，正是台肥一直以來努力執行的目標之一。

友善土地的耕作方式已是全球的趨勢，身為國內肥料生產龍頭，肩負輔助國家農業的重責大任。台肥不斷以創新的核心研發及生產能力，在保有糧食生產效率下，提供更環保友善的肥料產品、農業資材，並投入推廣人力資源教導農民善用有機資材，學習友善農法技術，潛移默化地讓綠色農業的種子在這片土地上逐步萌芽發展，引導台灣逐漸步上農業永續之路。

近年來環保意識抬頭，世界潮流趨勢開始重視肥料產品對友善環境的影響。緣此，台肥以研發能兼顧肥效、土壤和環保的肥料為理念，轉型發展「利基型肥料產品」，創新改良原有產品，於2016年成功推出新式綠色環保肥料「硝磷基複合肥料—黑旺系列」，不僅照顧土壤，更能提升農作物品質和產量，兼顧環保與環境發展。

近來，台肥更全力推展有機農業，不僅自行建立有機栽培及生產品管流程，並有計劃地擴大有機示範農場規模，傳授有機農法予農友，以維護農業永續經營的環境。此外，多年來持續投入「微生物複合肥料」的開發，甚至應用於水產環保養殖，並進一步發展適用於有機農業的「生物農藥」，期許對台灣農業做出具體貢獻。

在台灣經濟與農業發展過程中，台肥始終扮演著堅實的支撐者的角色，農產品出口累積的外匯成為台灣經濟奇蹟最重要的根本。階段性使命完成後，台肥持續以優質肥料協助農業發展，並緊跟著世界潮流，研發優質肥料呵護土地，從而發散愛的能量與社會關懷。珍愛土地、呵護農民，台肥將戮力傳承、綿衍深耕。

植物施肥的奧祕

潘詩怡

為了有效地對植物施肥，肥料的營養成分，以及施肥位置、用量和時間，都是必須考慮的重要因素。

植物的營養元素

植物除了跟人類一樣需要陽光、空氣、水，以及感受周圍溫度與溼度變化外，還要靠什麼東西才能長得壯壯的？

植物生長所需的元素，除了碳、氫、氧可以從空氣與水分獲得外，其餘的就需要從土壤中攝取，如有不足則需添加，也就是施肥。植物的肥料組成元素依需要量可分為大量元素（氮、磷、鉀）、次量元素（硫、鈣、鎂）及微量元素（氯、鐵、硼、錳、鋅、銅、鈷、鎳、鉬）。



施肥可以讓土壤肥沃，有利植物生長。
(圖片來源：種子發)

植物的營養元素

類別	元素	含量與說明
大量及次量元素 (巨量元素)	碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫	0.1 ~ 5.0%，作物對氮、磷、鉀的需要量比較大，土壤中的有效含量常不夠作物生長所需，需要施肥補充，稱肥料三要素。鈣、鎂、硫需要量次之，稱為次量元素。
微量元素	鐵、錳、銅、鋅、硼、鉬、氯、鈷、鎳	0.1 ~ 2,000 mg / kg

肥沃的土壤應有良好的物理性、化學性、微生物性、豐富與均衡的養分、讓根系伸展良好的孔隙及環境的緩衝性，使其發揮吸收功能。

**植物透過根或葉吸收利用的養分幾乎都是離子態，
因此肥料必須溶在土壤溶液中，再藉由擴散、質流、根截取等作用被植物吸收利用。**

大量元素和次量元素如氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫在植物體內所占的比率很高，可達到0.1～1.5%，而鐵、錳、銅、鋅、鉬、鈷、鎳、氯、硼等微量元素所占的比率非常低，其差異甚至達到百萬倍之多。另外，稀土元素包含釔、釔、鑭、鈰、鑥、釤、鉻、釔、釔、釔、鉻、釔、鎳、鎳共17種，對植物生長發育具特殊作用，田間試驗和室內實驗都證明稀土元素能提高植物光合作用及葉綠素的含量。而其他更微量的元素，因含量很低，常在儀器能偵測的範圍之外，因此很難釐清其所扮演的角色及需要量。

植物如何吸收肥料

肥沃的土壤應有良好的物理性、化學性、微生物性、豐富與均衡的養分、以及沒有對作物生長不利的因子，且能提供植物適當的環境，讓根系伸展良好的孔隙及環境的緩衝性，使其發揮吸收功能。但肥沃的農田土壤並非到處都是，有時因各地區不同的土壤質地、降雨情形等，造成土壤通氣、保水、保肥狀況不佳。此外，長期種植農作物的土地也會因植物的生長吸收，導致有機質含量下降、營養元素缺乏、土壤日漸貧瘠。透過肥料的施用，可使土壤恢復地力，提供植物生長所需的要素。

肥料是天然或合成的一種或多種植物成長發育所必需的營養元素，約30～50%的作物產量增加是因施用天然或無機化學合成的商業肥料。市面上出售的肥料種類

及品牌很多，依成分可分為無機肥料和有機肥料，通常直接用於土壤中或噴灑在葉片上。植物透過根或葉吸收利用的養分幾乎都是離子態，不管是化肥或是經過微生物礦化後的有機肥，都必須溶在土壤溶液中，再藉由擴散、質流、根截取等作用被植物吸收利用。因此，肥料在水中會解離成離子態，與根部的電荷交換，讓養分進入根的表面。

元素吸收小教室

擴散 擴散作用是溶液中養分離子因濃度不同，由濃度高往濃度低處移動。在一般情況下，因根吸收養分離子，根表面的濃度較離根遠處的濃度低，因此養分會往根部擴散而被吸收，通常磷、鉀的移動靠擴散較多。

質流 質流是養分隨著水分被植物吸收的同時，進入植物根部。質流的驅動力主要是靠蒸散作用，土壤中的水分由根往莖、葉移動，也往根內移動，就同時把溶液中的養分離子帶入根部。通常氮、鈣、鎂藉由質流到根部最多。

根截取 當植物根毛接觸到土壤膠體時，根毛上的陽離子（根毛上因細胞壁的酚基脫氫後帶有負電荷，因此可以吸附陽離子）能和膠體上的陽離子直接交換，把膠體吸附的陽離子吸收到根部裡面，稱為根截取或接觸交換。

葉面施肥利用效率高

植物除了從根部吸收土壤施肥的營養元素外，1950 年密西根州立大學的 H.B. Tukey 和 S.H. Wittwer 證實了植物也能從葉面吸收營養元素。他們以標示了同位素的植物營養素在葉面施肥，發現營養物質被葉片吸收後轉運遍布了整個植物，且葉面施肥的養分利用效率約 95%，土壤施肥卻只有約 10%。

為何葉面施肥效率高於土壤施肥呢？那是因為葉片上表皮和下表皮都有氣孔，氣孔是葉片內外物質交換的通道，葉片可以透過氣孔吸收大氣中的氧氣、二氧化碳等，也可以透過氣孔排放氧氣、水蒸氣等。葉面施肥主要就是透過氣孔使養分進入葉片直接被作物吸收，由於葉片背面氣孔較多，因此施肥時一般會在葉片背面多噴些。

懸吊在空氣中栽培的空氣鳳梨，就是典型從葉面吸收水分及養分的植物。空氣鳳梨的根主要功能是固著植物體，並非吸收養分，其光合作用是景天酸代謝循環型。也就是白天炎熱時為了減少水分蒸散，葉片的氣孔會關閉，到晚上時才打開，吸收二氣化碳儲存在液胞中。白天則把二氣化碳釋放到葉綠體進行光合作用，提供葡萄糖給植物體。因此，當晚上氣孔打開時，就是空氣鳳梨吸收水分及養分的最佳時機。

肥料越多越好嗎

透過植物葉片外觀診斷、精確的土壤診斷，確認施什麼肥、用多少量，才不致因過量施肥，導致多花錢又沒有得到應有的收成，或因為肥傷而造成作物的損失。



空氣鳳梨不需要土壤，僅靠葉面吸收水分及養分。
(圖片來源：種子發)

植物生長必需的元素有量多量少的區分，但都是重要的。為維持正常生長，這些元素之間的需要量必須保持一定比例的平衡，只要當中某一元素比例偏低，整棵植物的生長就受其限制，必須補足這個元素，才能繼續生長，這就是植物生長的最少養分律。因此，應該針對土壤中最缺乏的要素施肥才能得到效果。

假設氮素是某一栽培作物最缺乏的營養要素，那麼施用氮肥很快就會看到施肥增進生長的效果。但植物生長量並不會隨著氮肥增施呈現固定比率增加，反而有逐漸遞減的現象，終至再補施氮肥也不見生長量的增加，甚至有減產現象，這就是施肥的報酬漸減率。

**植物生長必需的元素有量多量少的區分，但都是重要的。
為維持正常生長，這些元素之間的需要量必須保持一定比例的平衡。**

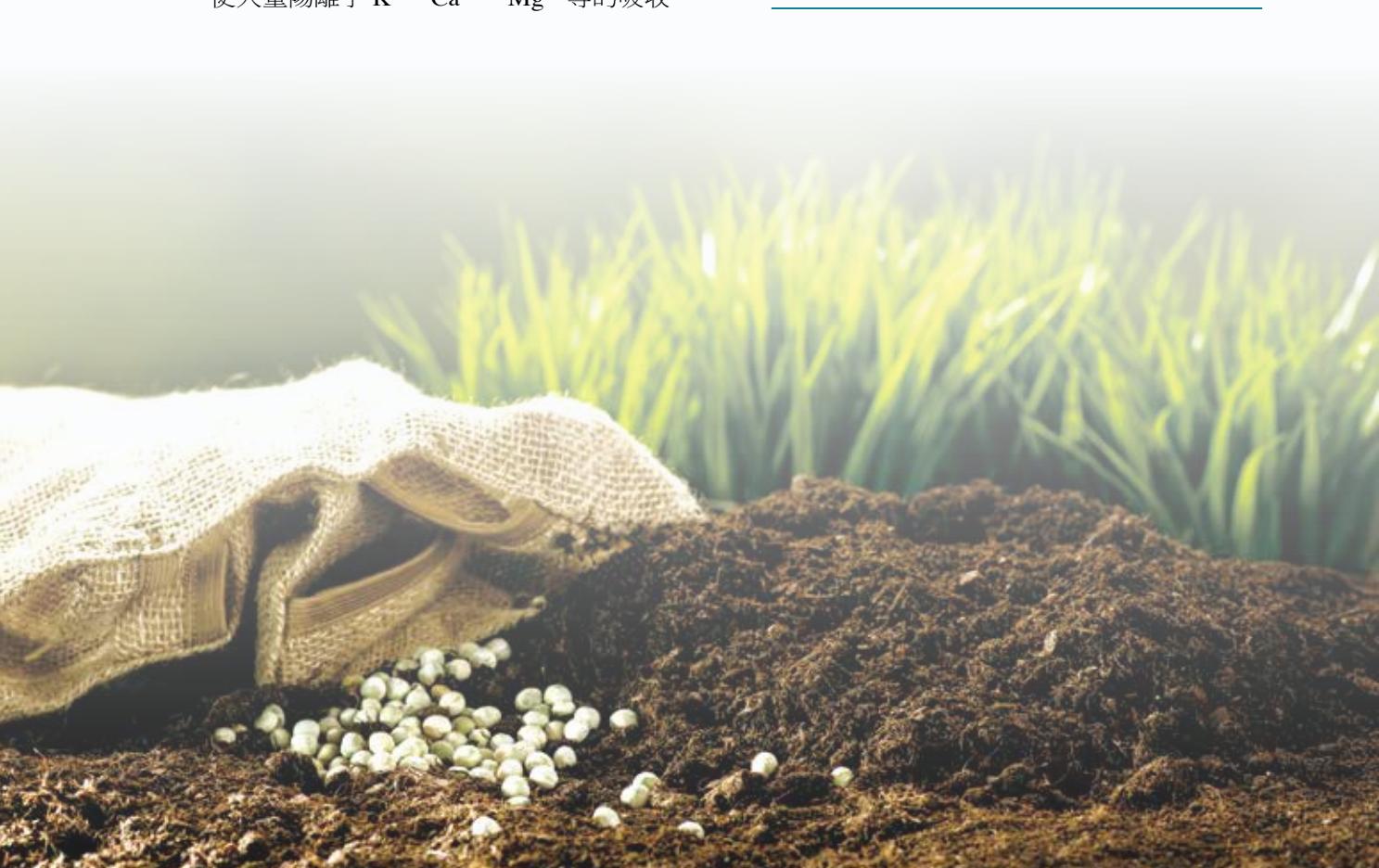
離子之間有拮抗作用與協同作用。拮抗作用是指某一種元素的吸收或存在於植物體內與另一種離子相互抑制的作用，這種作用主要表現在陽離子與陽離子之間或陰離子與陰離子之間，例如水稻吸收鉀離子會減少對鐵離子的吸收。

而協同作用的表現剛好相反，即某一種元素的吸收或存在於植物體內受到了另一種離子促進吸收或運轉，這種作用主要表現在陰離子與陽離子之間或陽離子與陽離子之間。例如陰離子 H_2PO_4^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 都能促進陽離子的吸收，這是由於這些陰離子被吸收後促進了植物的代謝作用，形成各種有機化合物如有機酸，因此能促使大量陽離子 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等的吸收。

農民種植短期葉菜時常施用氮肥，氮肥是植物體內胺基酸的組成部分，是構成蛋白質的成分，也是植物進行光合作用葉綠素的組成部分。施用氮肥可使葉片變大且濃綠，但若施用過多，會不利於鉀的吸收。若要補足鉀肥而導致施用過量時，反而影響植物對氮的吸收。又鉀對鈣、鎂也具有拮抗作用，降低對鈣、鎂元素的吸收，造成元素在植物體間的不平衡，使得葉部黃化，嚴重時會導致葉片褐化枯死。因此，施肥時要注意避免各元素間的不協調性。

潘詩怡

台灣肥料股份有限公司研究發展處



肥料的發展及推進

陳冠文

未來肥料產品將朝向緩控制釋放肥料、營養劑或微生物肥料開發；而施肥的同時應達到病害防治效果，以及降低農藥使用頻率，朝向精準農業發展。

農業是人類邁向文明生活的第一步，其使人類脫離狩獵與採集的生活，開始定居形成聚落。農業可以生產十倍、百倍，甚至是千萬倍於狩獵與採集生活的卡路里，養活更多的人口。肥料的演進也是一部人類農業乃至文明進步史上的一個章節。本文以科學發展與農業經營的角度，敘述肥料如何發展與推進。

科學發展的角度

《齊民要術》成書於西元 6 世紀，是華夏地區現存最完整的古代農牧情形的著作，由北魏賈思勰所著，記錄當時黃河流域下游地區的農業技術。〈雜說〉一章記載：「凡田地中有良有薄者，即須加糞糞之。」而在踏糞法中，詳細描述當時農民在休耕時期，把殘餘的莖稈收集成堆後用牛隻踏實，踩踏過程中牛排放的糞便及尿液便與莖稈混合，再經發酵製作廐肥，並敘述來年耕作時的施用量等。

地球另一端亞馬遜雨林的原住民，也知道把燃燒過後的草木灰耕犁至土中可以增加作物的產量。種種考證可以推測出至少在 1,500 年前，肥料的運用技術已經純熟。

19 世紀中葉，李比希（Justus von Liebig）發現植物生長所需的營養元素，搭起了化學物質與植物生長的連結。化學肥料的運用使得農作物產量大幅提升，養活了更多人口。



圖片來源：種子發

植物生長的必要元素有 18 種，除了碳、氫及氧可藉由氣孔交換外，其餘 14 種元素依植物生長所需量的多寡，把氮、磷、鉀稱為大量元素，鈣、鎂、硫稱為次量元素，而鐵、錳、銅、鋅、氯、硼、鉬、鈷及鎳稱為微量元素。另外，像是鈉及矽，甚至鋁等對部分作物也屬於微量元素。目前市售的化學肥料都是以補充大量元素的氮、磷、鉀為主。

製肥技術不斷進步、肥料交易自由化、產業結構改變、農村人力老化、農業知識進步等因素，使肥料產品也隨之改變與調整，從一開始的單質肥料朝複合肥料發展。單質肥料是指僅含一種營養元素的肥料產品，如氮肥、磷肥或鉀肥等，複合肥料則包含氮、磷、鉀其中兩種以上的肥料。早期複合肥料是直接以固體做為原料混拌而成，常導致產品成分的均勻度及品質不佳。現代化的製肥技術則以液體為原料，利用半肥漿或全肥漿的製程，生產品質及成分均勻的優質肥料。

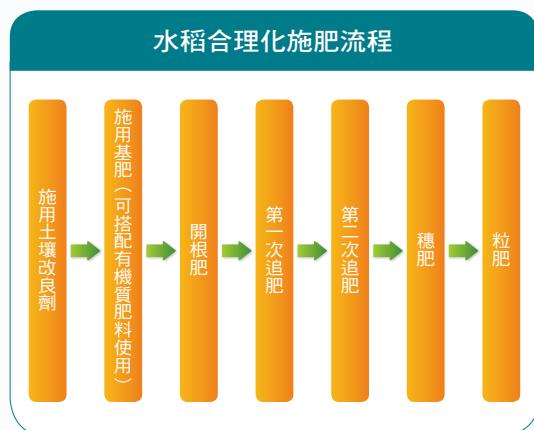
當粒劑發展純熟後，改變了肥料的配方，開發出溶水性甚佳的即溶複肥產品。其具親水性佳的特性，可以隨灌溉水施用，高度稀釋後可以噴施葉面，做為施用粒狀肥料外的營養補充品。

近年來，更朝向有機複合肥（添加泥炭）及生技肥料（與有益微生物、有機資材形成三要素結合）方面發展，不僅能增加肥料的吸收效率，也能增加肥料與土壤之間的緩衝能力，兼具增加產量與土壤健康的功效。

台灣目前耕作的土壤大多有酸性與有機質含量偏低的情形，適度添加植物性有機質肥料改善土壤狀況，再搭配使用化學肥料，可達到最佳平衡。



農作物添加未經處理的禽畜類糞便，導致蟲害發生。



農業經營的觀點

在化學肥料普及前，天然的排泄物是台灣地區農用肥料的主力，且具有商業價值。即使是現在，仍然普遍使用禽畜類的糞便在世界各地的農業耕作上。禽畜類糞便取得容易、分解快、肥分高、價格便宜，但這類堆肥的品質易受飼養環境、飼料、水源及動物健康狀況的影響，且大多數未經處理，因此容易散發出惡臭，成為病原菌及昆蟲的溫床。

台灣目前耕作的土壤大多有酸性與有機質含量偏低的情形，這幾年農政機構不斷宣導合理化施肥的觀念，適度添加植物性有機質肥料改善土壤狀況，再搭配使用化學肥料，做到適時、適量、適作的施肥，以達到收入與支出的最佳平衡。

合理的施肥觀念必須考量以下幾點：每3年定期進行土壤及植體營養診斷鑑定、訂定合宜的肥料種類與用量、適當的施用時期與方法。不同作物種類及生育階段對營養需求不同，必須適當地施用有機資材，兼顧農田地力及生態環境的維護，且需適時添加微生物肥料，改善土壤微生物菌相，以減少病害的發生。

肥料施用的每一個環節都環環相扣，各自有階段性的任務。添加苦土石灰，可以達到緩解酸化土壤的功效，同時具備鎂及鈣也可補充次量元素。於基肥期使用高磷肥的複合肥料與有機質肥料，磷肥的吸收效果更佳，能促進根系的發展，而有機質肥料可以改善土壤的蓬鬆程度，提供根系生長的空間，使植株健壯。使用氮肥較高的化學肥料，可補充作物長大及葉片生長的營養，而能增加光合產物的累積。穗



自給型居家農業的魚菜共生系統

肥可以促進穗的發育以及光合產物轉成澱粉，成為穀粒飽滿的資本。另外，搭配水溶性的肥料及微生物肥料，能提高品質與收益。

市售複合肥料的組成和通用對象

名稱	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	適用對象
1號複肥	20-5-10	高氮配方，適合作物營養生長期使用。
4號複肥	11-5.5-22	高鉀配方，適合果樹及澱粉類作物施用。
5號複肥	16-8-12	三要素配方比例，適用大多數作物。
39號複肥	12-18-12	高磷配方，適合作物基肥期施用。
43號複肥	15-15-15	三要素含量均衡，適於多種作物全期施用。

生態、環境及永續農業越來越受重視， 政府持續推動合理化施肥之餘，新型、生態肥料的發展必然成為一種趨勢。

政府推動合理化施肥，是要讓肥料產品走向商品化、功能化及多樣化，以法規使肥料製造制度化，以階段性分工的方式供消費者依作物栽培時期選用。台灣肥料產業的演進史至今已近二甲子，肥料的發展及推進受到製肥技術及消費者使用習慣的改變所影響，也受到政府政策的推動與各國肥料產品交流的影響。

目前食安風暴頻傳，一般民眾對健康越來越注重，自給型的居家農業逐漸形成風潮。生態、環境及永續農業越來越受重視，政府持續推動合理化施肥之餘，新型、

生態肥料的發展必然成為一種趨勢。肥料產品未來將持續朝向更先進的緩釋肥料、營養劑或微生物肥料發展。此外，施肥的同時也需達到病害防治的效果，以及降低農藥的使用頻率，以符合增產、經濟及環保用肥的理念，朝精準農業邁進。

陳冠文

台灣肥料股份有限公司營業處



友善環境的施肥方式

| 楊維哲

適時、適地與適量地合理施肥，可以達到促進作物生長、提高產量與品質、降低對周遭環境的影響，達成永續農業的目標。

施肥是植物生長過程中重要的課題，好的施肥方式可以一邊促進作物生長、提高產量與品質，一邊降低對周遭環境的影響，是永續農業不可缺的一部分。這種施肥方式簡單來說就是「合理施肥」，也就是適時、適地，更重要的是適量。

土壤肥力檢測

可以讓作物固定在上面生長的資材稱為介質，能使作物固定並從中吸收營養，是作物生長的根本。常見的介質有椰纖、泥炭土、珍珠石等，而土壤是其中最常見也最廣泛使用的一種。但土壤的內容物比其他介質來得複雜，仔細觀察時，會發現即使是同一區域內，土壤顆粒大小、石頭含量、顏色、含水量等都不相同，這意味著施肥方式也必須隨著調整。因此，友善環境的施肥方式第一步就是「儘量理解我們腳下耕作的土壤特性」。

要了解耕地土壤特性，主要是透過科學方法，檢測土壤的酸鹼度、電導度、有機質含量、氮磷鉀含量、微量元素含量等。理解土壤的性質才能夠對症下肥，選擇適當的肥料種類與施用量，以避免元素缺乏或施肥過量。



圖片來源：種子發

| 友善環境的施肥方式第一步就是「儘量理解我們腳下的耕作土壤特性」。

行政院農委會桃園區農業改良場土壤肥力檢測室

農戶姓名：	農戶編號：	樣品編號：12636
樣品種類：土壤	樣品代號：357-1	作物：
檢驗員：	經辦人：	負責人：
送件日期：2006-05-15	寄件日期：2006-06-07	服務電話：03-4768216 轉 335
檢測項目	檢測值	參考值
酸鹼度 (1:1)	4.7	5.5 ~ 6.8
電導度 (1:5) (mS / cm)	0.12	< 0.6
有機質 (%)	6.1	> 3.0
磷酐 (公斤 / 公頃)	602	60 ~ 290
氧化鉀 (公斤 / 公頃)	563	90 ~ 300
氧化鈣 (公斤 / 公頃)	2,591	2,000 ~ 4,000
氧化鎂 (公斤 / 公頃)	325	200 ~ 400
銅 (ppm)	7.0	< 20
鋅 (ppm)	13	< 25
鎘 (ppm)	0.2	< 0.39
鎳 (ppm)	0.3	< 10
鉻 (ppm)	0.6	< 10
鉛 (ppm)	5.1	< 15

建議：酸性。每分地施石灰 120 ~ 200 公斤，磷含量過高，減量 1 / 2 以上。鉀含量偏高，酌量減少。

本資料僅供施肥參考，不作任何證明文件。nd 表示未檢出。

桃園區農業改良場協助農友分析耕地土壤肥力的報告表，可以清楚知道土壤肥力性質，例如表中農友的土壤已經過酸，需要使用改良酸土的資材。（圖片來源：桃園區農業改良場網站）

在不清楚自己耕地土壤性質的情況下用肥，常導致偏施單一種肥料或過量施肥，使土壤慢慢劣化。由於作物難以從土壤中吸收肥料養分導致營養不良，因而覺得肥效不足又再次補充肥料，形成惡性循環，最後甚至劣化到無法耕作的地步。目前為了幫助農友理解自己耕作的土壤特性，各地區的農業試驗機構、改良場、農試所都有提供免費的土壤肥力診斷服務。

酸鹼改良

在土壤的眾多性質中，影響作物吸收肥料營養的便是酸鹼度，適合大多數作物生長的土壤酸鹼度介於 6.0 ~ 7.5 之間。土壤過酸或過鹼都有對應的改良資材。常見的酸性土壤改良資材是石灰質資材，酸性中和力越高表示鹼度越高，改良時需注意不要過度施用。簡易的鹼性土壤改良則是

為了理解耕作土壤的特性，各地區的農業試驗機構、改良場、農試所都有提供免費的土壤肥力診斷服務。

使用生理酸性的肥料，最常見的就是施用硫酸銨、氯化鉀等。土壤酸鹼度改良不能操之過急或斷斷續續，一次使用過多改良資材或使用頻率太低都會影響改良效果。

當土壤酸鹼度維持在中性時，肥料的有效性良好，表示正常的施肥量就能夠達到促進作物生長的效果。當施用的肥料量剛好足夠作物吸收利用時，便不會有太多殘留在土壤中，對於環境的影響就非常小。

有機質肥料

土壤中的有機質可以說是土壤肥力的全能小幫手，能夠改善土壤物理性、化學性與生物性。但台灣土壤的有機質受到氣候高溫多溼影響，分解快速，多數土壤的有機質含量少於建議的 3%，因此需要額外補充有機質肥料。

常用石灰資材比較

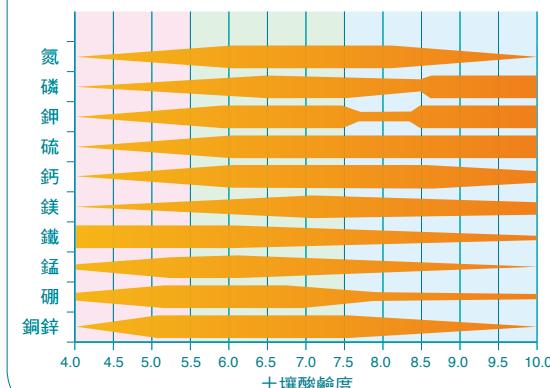
石灰資材	中和力	鹼度 ¹	主要成分
石灰石粉	100	56	碳酸鈣
消石灰	135	76	氫氧化鈣
生石灰	179	100	氧化鈣
苦土石灰	90 ~ 105	53 ~ 60	碳酸鈣鎂
蚵殼粉	92	50	碳酸鈣

¹ 生石灰鹼度 100，其餘是相對值。

有機質對土壤的影響

項目	影響
土壤物理性	增加土壤團粒性、增加土壤保水力與通氣性、減緩土壤流失。
土壤化學性	幫助肥料的營養儲存、增加土壤對肥料的緩衝力、增加肥料營養有效性、補充微量元素。
土壤生物性	提供土壤微生物養分、增加土壤有益微生物。

土壤反應與植物養分有效性關係模式圖



土壤酸鹼度與作物養分有效性關係圖。氮素的有效性在土壤酸鹼度低於 5.5 顯著降低，幾乎只剩下酸鹼度 6.0 ~ 7.5 的一半。反映到肥料上，就是酸鹼度在 5.5 時必須多施一倍的肥料量，才可達到酸鹼度在 6.0 ~ 7.5 的同等效力。這時多施用的肥料就容易影響周圍環境。

土壤中的有機質可以說是土壤肥力的全能小幫手，能夠改善土壤物理性、化學性與生物性。

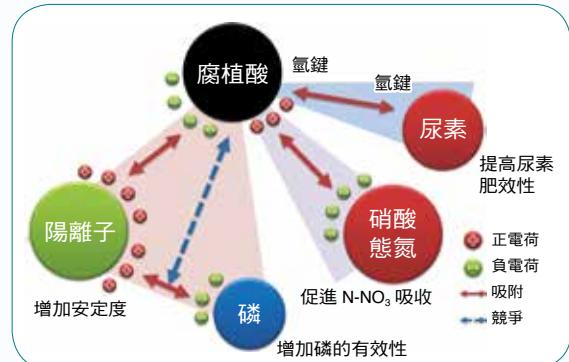
有機質肥料是農畜廢棄物的再生利用，原料影響肥料性質深遠，常見的有機質肥料原料有作物殘體、禽畜糞材、農產加工副產品（粕類）、菇類栽培介質等。由於原料眾多，因此有機質肥料含有的營養很多元，時常更換不同原料的有機質肥料，對於土壤的健康活化有良好的影響。

從施肥的積極面來看，有機質肥料有延長與加強肥料功用的功能。好的有機質肥料含有許多腐植酸，而腐植酸是一個巨大的有機分子，基本結構是芳香環和烴環，帶有正電荷、負電荷、氫鍵、自由基等特性，與金屬離子有交換、吸附、螯合等作用。

有機質肥料對農業耕作的幫助很大，除了有機農法需要完全使用有機質肥料外，慣行農法的農友也宜多多施用。以一般市售的有機質肥料產品為例，每年可至少施用2~4次，每分地施用60~100公斤。市售的有機質肥料以顆粒性狀分類時，可分為粉片狀與圓柱狀顆粒，前者的改良效果較好，後者的肥效效果較好，農友可以依照自己耕地土壤的情形交替使用。

微生物肥料

微生物顧名思義就是微小的生物，很多都是肉眼無法觀察到的，農業作物病害多數是由有害微生物引起。然而微生物也有好的，為了維護耕作土壤的健康，適時補充有益的微生物是必要的，這樣能加強肥料及農藥的利用效率，降低農藥及肥料的使用量，減緩土壤劣化速度。它們的直接作用是供作營養來源、增進土壤營養狀況，



有機質肥料所含的腐植酸在土壤中有助於肥料效力。腐植酸能夠留住尿素與硝酸態氮，成為氮素的銀行，延長氮素在土壤中的效力，也能夠留住陰、陽離子營養元素。另外，因為陽離子與腐植酸作用，間接減少陽離子與磷肥的固定作用，所以提高了磷肥的利用率。



市售有機質肥料以顆粒分類。左圖是粉片狀產品，改良效果佳；右圖是擠壓造粒後的圓柱狀產品，提供有機養分效果好。

間接作用是保護根圈、促進植物根系生長、延長根系壽命、促進作物吸收水分及養分、中和或分解土壤中的毒害物質、提高作物移植存活率、提早開花等。

微生物肥料通常只需搭配灌溉水稀釋成需要的濃度，就可以用噴藥桶或噴灌設備施用，也可以直接隨著灌溉水流進入田間。

有益微生物的用途與功能

用途	功能
增加土壤養分	有些種類可固定空氣中的氮素，轉為可供作物利用的形態，增加土壤中的氮源，如固氮菌。 菌體的代謝物或菌體死亡時也會留下有機營養物。
增加土壤養分的有效性	分泌酵素促進有機質降解與養分礦化作用，提高養分的有效性，如溶磷菌。
改良土壤性質	補充土壤微生物，活化微生物相。分泌聚合物，增加土壤團粒性。
降低土壤中有害的物質	降解或吸收土壤中對作物有害的物質。
增進作物養分、水分吸收能力	提升作物吸收養分與運輸水分的效率。
增加作物的生長勢	增進作物生長與發育，提高產量及品質。

一般來說，用來灌注根部的濃度可以稀釋200～300倍，而噴灑於植株或葉面的濃度可以稀釋400～500倍。微生物肥料可以每周持續施用，且越早期（苗期）開始連續施用效果更好，施用後可斟酌減少其他肥料的施用量。

施用微生物肥料的時間點宜在較涼爽的下午時段，儘量避免在炎熱的中午。如果遇到連續下雨，則可以在雨停後立刻施用，能夠減緩作物因為雨水所受的傷害。微生物肥料要避免與銅劑類或抗生素殺菌劑一起施用，假若必須混合農藥一同施用，宜先稀釋農藥後再加入微生物肥料，避免農藥與肥料互相作用而影響彼此的效力。

施肥注意事項

上述最主要就是提醒大家施肥要注意肥料的施用量，也需要注意施用時機，若正好施用在作物需肥時期，一方面及時提

供作物生長利用，一方面可以減少肥料的浪費。因此，肥料用對時機對於經濟與環境都有很大的幫助。

作物需肥時期一般參考植體營養元素分析的結果來定。透過檢測作物生長各個時期的體內營養元素，可以知道在哪些時期特別需要某幾種營養元素，定出為這種作物量身訂做的施肥時機點。在作物需肥的不同時期，適當調整施用的肥料營養元素的比例，就能有調節作物營養生長或生殖生長的作用，對提高產量或品質都有幫助。例如：控制果樹的施肥時機可以調節花芽分化或枝條生長、在果樹生殖生長時期提高鉀肥比率可提高果實品質。

另外，也需要注意施肥的位置，主要以施用在作物根圈附近為主。以果樹為例，主要施用在樹冠下方根圈旺盛區域；而栽植於畦面上的作物，多數施用在畦與畦間的溝渠根系生長區域。施肥後應覆蓋土壤，

為維護耕作土壤的健康，適時補充有益微生物能加強肥料及農藥的利用效率，降低農藥及肥料的使用量，減緩土壤劣化速度。



若因為要減省人工把肥料施用在土壤表面，會使肥料損失減效，造成施用量增加。

肥料在釋放肥效時，需要水分的幫助，乾燥的土壤很難使肥料產生效用，水量過多的土壤則會使肥料過度消耗損失，因此施肥應在灌溉後，土壤尚有適當水分時。一般顆粒狀的化學肥料都不應該以大量水沖施，水分過多會使肥料過度消耗損失，且許多營養元素的原料來自於天然礦石，溶水性差，很難經由沖水施入田中。以大量水沖施，非常容易導致過量施肥，影響周遭環境。

地球只有一個，雖是老生常談，卻是非常重要的概念，如何在農業發展與環保間

取得平衡一直是很重要的課題。農業本身對於環境的影響多數來自於資材的用法不正確，友善環境的施肥方式其實是建立在對自己耕地土壤的了解上，搭配各種對於環境影響較小或幫助減少肥料施用的資材，可讓作物增產又不過分影響周圍環境。

楊維哲
台灣肥料股份有限公司營業處

肥料的 製造技術

| 邵豪華

「肥料」簡單地說，就是可提供植物養分的物質，主成分是氮、磷、鉀；氮肥的效能葉，磷肥在花果與根，鉀肥則功於莖。不同的作物及其各個生長期所需的養分都不同，肥料製造者得依消費者需求供應不同的產品。

肥料分類及製法

肥料可分為單質肥料及複合肥料兩種：前者如氮肥尿素、含磷養分的過磷酸鈣及含鉀養分的氯化鉀；後者則含有氮、磷、鉀至少兩種的養分。肥料一般都以氮—磷酐—氧化鉀（ $N-P_2O_5-K_2O$ ）三要素的重量百分率來表示其含量，製造時會依配方組合成不同比例的三要素，再把各成分混合或經反應製成顆粒狀。有時也會依需求添加其他次微量的元素，像是鈣、鎂、鐵、腐植酸等。

複合肥料依原料不同可分為硝磷基及錳磷基複合肥料，其分類基準視磷酐來源不同而定。磷酐來源若是由磷礦經硝酸酸解再加硫酸及氨反應，形成磷酸鈣、硝酸鹽等，這種製程所得的肥料稱為硝磷基複肥；若是以磷酸及氨當原料，經反應生成磷酸銨，這種肥料就稱為錳磷基複肥。

肥料製程中又因中間物不同可分成全肥漿法及半肥漿法。前者是把所有原料溶融成肥漿再造粒，成分較均勻，顆粒型態也較佳，後者則是把固體原料與液體原料液氨、硫酸等混合後再造粒。



圖片來源：種子發

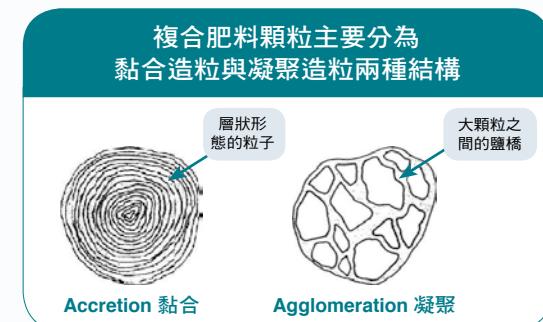
此外，因肥料造粒方式不同，可歸類成迴轉造粒法、噴漿造粒法及高塔造粒法。迴轉造粒法主要是處理半肥漿法肥料，藉由旋轉機轉動，把小顆粒的肥料凝聚成大顆粒。噴漿造粒法則是處理全肥漿肥料，藉由壓縮空氣與肥漿混合共同噴出，把小顆粒的肥料裹上一層又一層的肥漿成為大顆粒。高塔造粒法則是把肥漿由塔頂以自由落體方式落下，藉由冷空氣吹拂形成大顆粒。

複合肥料造粒機制

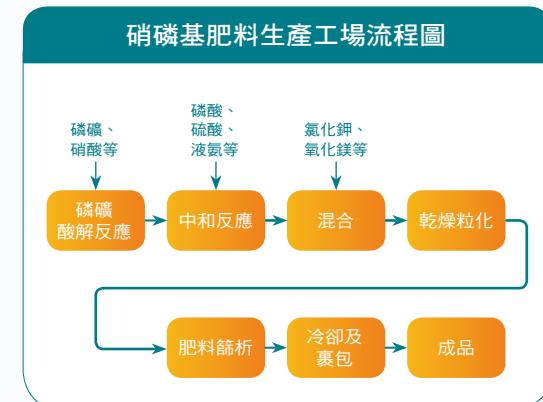
複合肥料造粒的機制，主要依全肥漿與半肥漿而區分為黏合造粒及凝聚造粒兩種方式。

黏合造粒是把所有原料溶成液態肥漿，再利用高壓空氣及噴嘴使肥漿以霧狀噴灑入乾燥機內，與來自成品篩機篩分的迴流細粒一層層裹包而成。乾燥用熱空氣或燃燒爐熱氣與迴流細粒在同一方向引入乾燥粒化機，使生成的顆粒同時乾燥。其肥料成品顆粒內部結構近似洋蔥狀，像磷酸一銨、磷酸二銨及部分硝磷基複肥就是採用這種方式造粒。

半肥漿凝聚造粒則是把固體原料與液體原料或與肥漿混合凝結而成，其中乾燥的固體原料占比約 50 ~ 75% 之間。而造粒方式主要是藉由粒化機的迴轉使物料翻滾瀉落，並供給機械力使物料粉體相互接觸衝擊而產生凝聚力，當物料本體達到使固體粒子集結所需的液體比時就可粒化。粒化過程所需的液體通常是水、肥漿、液氨、硫酸及磷酸，此外，造粒過程中固體原料因酸氨中和會產生反應熱而部分溶解為液相，也有助於造粒。凝聚造粒的肥料顆粒



(圖片來源：肥料手冊)



原料在反應區混合成液態肥漿後，經由造粒、篩析、冷卻等步驟，製成大小相近的肥料顆粒。

的結構形狀較不規則，但大部份複肥多採用這種方式造粒。

以下略述硝磷基複合肥料的生產流程。先以硝酸酸解磷礦使產生肥漿，加入硫酸及磷酸（生產高磷配方時），然後再以液氨中和，最後加入氯化鉀調製成氮磷鉀成分的肥漿。這屬於全肥漿製程，肥漿經造粒、乾燥、篩析、粉碎、冷卻、裹包等程序後製成成品肥料，成品品質穩定，成分均勻性佳，顆粒硬度高且圓滑均勻，適合高氮複肥的大規模生產。

磷礦酸解程序與抑制黃煙的技術

生產硝磷基複肥的第一道程序是磷礦酸解，是利用硝酸使磷礦酸解生成磷酸、硝酸鈣等中間物，目的是使磷礦中的三鈣磷酐轉化成磷酸。

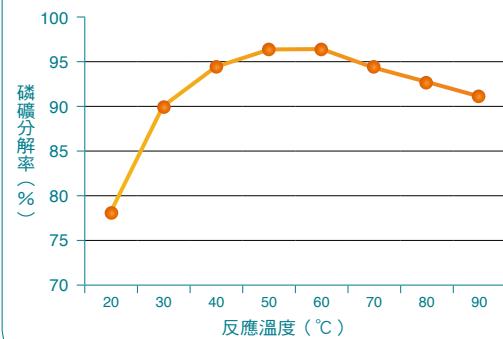
這道酸解程序共有 3 個串聯式 U 型反應槽，其中第一反應槽的反應最關鍵。據分析，影響磷礦酸解程序的因素包括：硝酸濃度、反應槽數、磷礦粒度、反應溫度等。一般來說，若磷礦酸解程序反應太慢，須考慮增加反應槽數，即延長反應時間使達到目標轉化率。但若反應太快太激烈，因磷礦酸解是放熱反應，肥漿溫度上升過高會導致硝酸分解成黃色的二氧化氮氣體，造成氮損失，影響肥料含量，並使後段廢氣處理系統負荷加大及影響排煙品質。

肥料製程中的磷礦粒度影響因素來自礦石的來源。台肥的磷礦來源有二，分別購自約旦與摩洛哥地區。其中來自摩洛哥地區的礦石性質較易使反應溫度升高，容易導致硝酸分解產生二氧化氮氣體損耗並影響排煙，因而必須調降產能，以致影響稼動率。

其次，反應槽數代表反應時間，反應槽數越多，反應時間就越長。工場共有 3 個串聯酸解槽，經取樣比較 3 個酸解槽出口的肥漿磷礦轉化率，幾乎在第一個酸解槽反應率已達 98% 以上，接近完成所有酸解反應。因此 3 個反應槽數應已足夠，且宜設法把第一酸解槽反應轉移分擔至第二、三酸解槽。

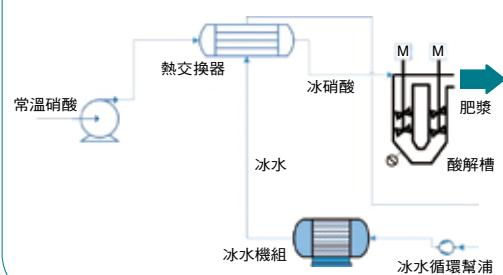
至於在硝酸濃度對磷礦酸解影響方面，一般工業用硝酸濃度規格是 65 ~ 68%，但磷礦轉化率最適合的硝酸濃度是 60%，若直接使用 60% 硝酸，因含水量大不利於工場回收廢水。因此規劃設置混酸器，把 65% 硝酸混摻洗滌液配成 60% 硝酸，再至反應

反應溫度與磷礦分解率關係圖



在攝氏 50 ~ 60 度時，磷礦與 60% 硝酸有最佳的磷礦分解率（約 96.39%）。

冰硝酸系統流程圖



冰水機組產出攝氏 12 度冰水，並使冰水管線與常溫硝酸溶液於板式熱交換器內進行熱量交換形成冰硝酸（攝氏 13 度），冰硝酸再與磷礦進行酸解反應，而降低酸解槽反應溫度，並控制於攝氏 55 度左右。

槽進行酸解反應。惟須注意摻配硝酸時，稀釋熱會使溫度上升而不利於反應。

磷礦酸解反應與溫度的關係：由實驗經驗得知，在固定硝酸濃度為 60% 的條件下，隨著溫度升高，磷礦分解率會增加。由於溫度升高會降低肥漿液相黏度，提高肥漿的流態，同時表面反應速率也加快，這些條件都有利於提高磷礦分解率。但是酸解槽溫度提高至攝氏 60 度以上時，硝酸

與氟化物蒸氣壓也會變得較高，使得部分硝酸產生硝酸霧氣或黃色的二氧化氮氣體。因此，為了使磷礦酸解達到最佳化的結果，且避免反應溫度過高使硝酸分解成黃色二氧化氮氣體，需把酸解槽的溫度控制在攝氏 50 ~ 60 度左右。

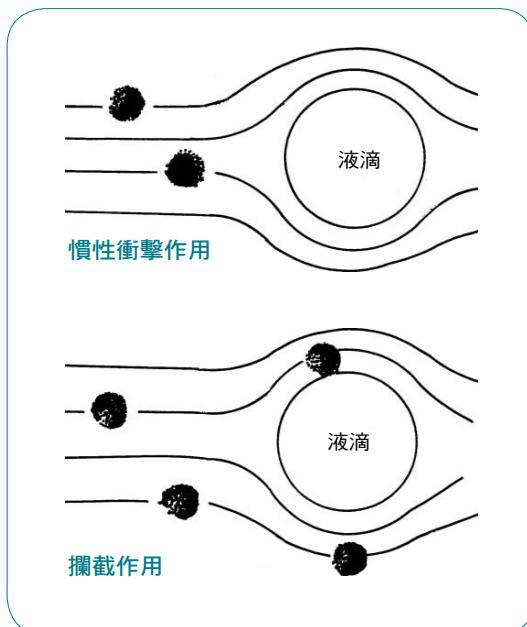
若以常溫（攝氏 32 度）與 65% 高濃度硝酸的工場生產條件進行磷礦酸解反應時，反應槽溫度很容易就達到攝氏 60 度。改善重點在於使酸解槽反應溫度降低及使用 60% 濃度的硝酸，一般的對策是規劃在酸解反應製程中增配一股洗滌液，以與 65% 硝酸混合成 60% 硝酸；或建置冰硝酸系統，藉由冰水機組產出攝氏 12 度的冰水，把常溫的硝酸溶液冷卻成冰硝酸（攝氏 13 度），冰硝酸再與磷礦進行酸解反應，而降低酸解槽反應溫度，並控制於攝氏 55 度左右。

如此一來，維持了整體磷礦的轉化率，且降低了反應溫度，避免黃煙二氧化氮氣體的產生，且能顯著改善生產時對環境的汙染。

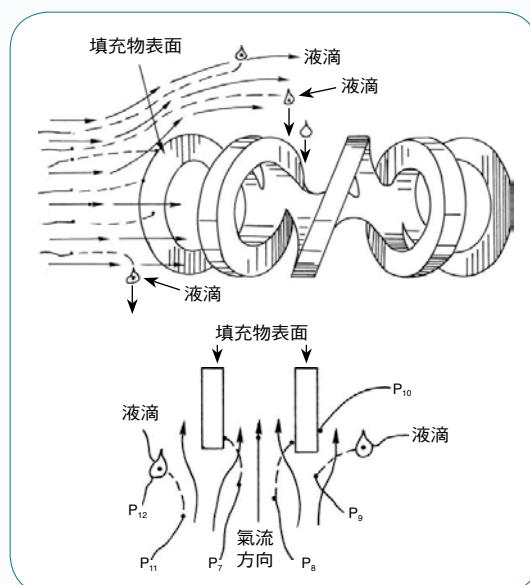
離子化溼式洗滌器的應用

肥料工業在生產過程中往往會產生粉塵、廢氣、廢水等汙染，嚴重影響環境。為了能減少乾燥程序中所產生的含粉塵氣體，常用的防制之道第一步是利用傳統集塵器收集，第二步則是以多段式文氏洗滌器捕捉粉塵，第三步再以填充式吸收塔霧化吸收。

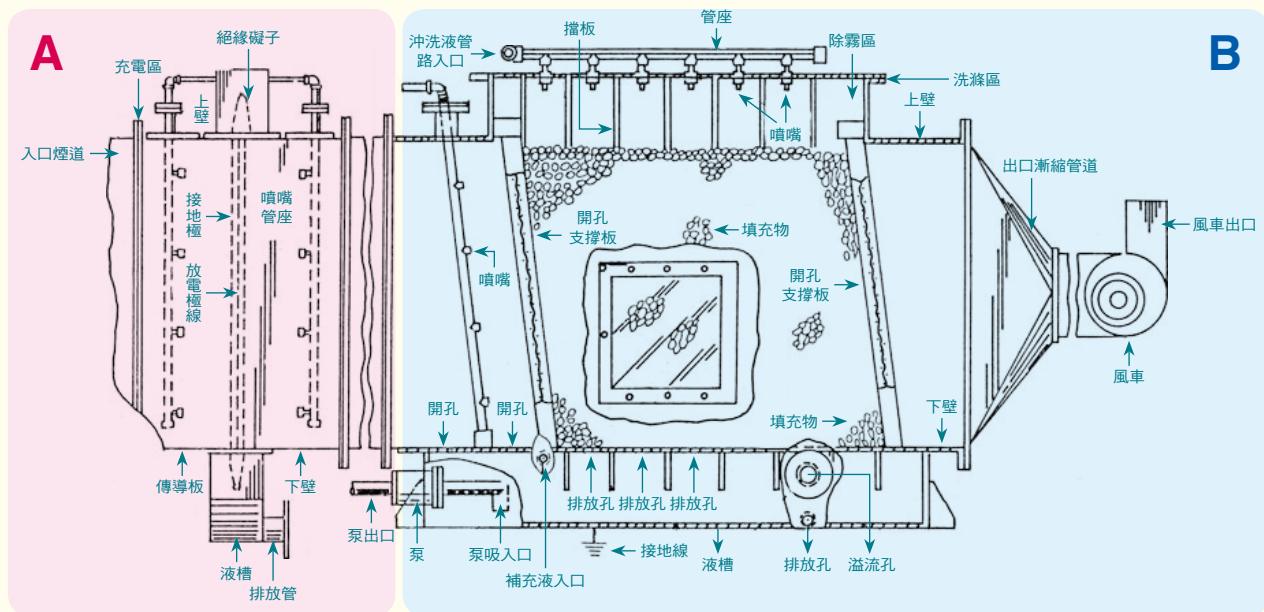
一般而言，乾燥氣汙染物較易去除，較難處理的部分涉及化學反應的酸解槽及中和氨酸槽產生的廢氣。例如磷礦酸解不佳或氨酸中和 pH 太高、太低時，都會產生二氧化氮、酸霧、氨氣等，並形成硝酸銨、氯化銨等氣溶膠汙染物。傳統洗滌塔都無法捕捉及去除這些產物，須選用適合處理溼氣體的離子化溼式洗滌器。



廢氣中的粒狀物藉由慣性衝擊至填充物或液滴表面而附著，因此被攔截下來。（圖片來源：譚明德、陳文杰、張瑞進，離子化溼式洗滌器，工業汙染防治，第 46 期，頁 75、90）



凝聚作用——一般都與冷卻器配合使用，主要在提供適當的溫度及溼度，促進微細粒子凝聚成較大的粒子，發生處在填充物表面。（圖片來源：譚明德、陳文杰、張瑞進，離子化溼式洗滌器，工業汙染防治第 46 期，頁 75、90）

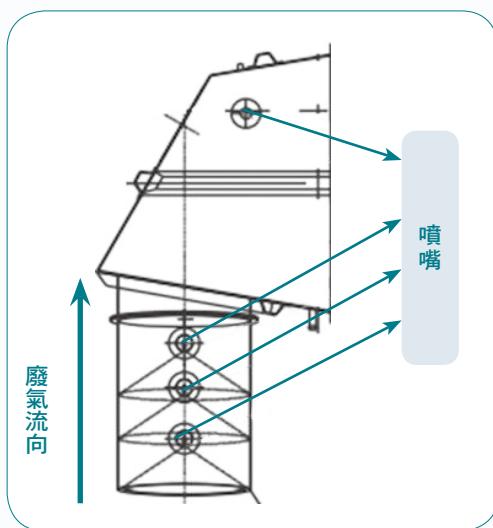


A 是充電區（放電極線），對粒狀物充電，提高帶電量而非收集粒狀物。B 是洗滌區：台肥台中廠廢氣與洗滌水採橫流式，具有液／氣阻力小、高煙氣流率、無泛溢點問題、去除臭味等優點。（資料出處：譚明德、陳文杰、張瑞進，離子化溼式洗滌器，工業汙染防治，46，75-90）

離子化溼式洗滌器主要用來處理酸氮化時產生的廢氣，可以有效去除粒徑 $3 \mu\text{m}$ 以下的粒狀物，並利用液—氣間的吸收原理，調整 pH 值至 $3 \sim 5$ 的適當操作區間，以去除煙氣中具腐蝕性、毒性及臭氣的成分。它的優點是操作費用不高，以及可增加廢氣處理量、提高效率等。

離子化溼式洗滌器運轉關鍵

操作離子化溼式洗滌器處理廢氣時，有些要點務必謹守，例如把預洗滌器設定硫酸在 pH $3 \sim 5$ 條件下捕捉氨及硝酸銨氣狀汙染物，效果最佳且能夠溶解銨鹽類。但須注意這時洗滌液濃度增高，析出的硫酸銨晶鹽易堵塞設備。改善方法是在一系列洗滌器中，把較下游洗滌器的洗滌水送



降溫塔的運作方式是廢氣經管線進入，洗滌液經由泵浦循環至塔頂，藉由噴嘴噴入水滴，蒸發吸收煙氣中熱量使廢氣降溫。

施加化學肥料的目的是為了能高效率種出高品質及產量的農作物，然而過度依賴化肥卻導致地力衰退、環境汙染等後遺症。

把泥炭土摻入化學肥料中製成有機複合肥料，是近來新開發的技術。這種有機複合肥料除了能取代化學肥料的使用外，也能改善土壤環境。

往較上游洗滌器做為補充水，以上類推，最後最髒的水則送往反應器。

另外，選用填充物增加洗滌液及廢氣的接觸面積，以加強廢氣中粒狀物、酸氣等物質的吸收效果，也可有效去除廢氣中的各項汙染物。

添加泥炭的硝磷基複合肥料

施加化學肥料的目的是為了能高效率種出高品質及產量的農作物，然而過度依賴化肥卻導致地力衰退、環境汙染等後遺症。近年來台灣一些有志之士便默默地推動有機農業，希望藉由改變農業習慣達到友善環境的目標。

泥炭土具有諸多成分與特性，例如：含有豐富微量元素（鐵、鋅、錳等）與有機物質（胺基酸、腐植酸）；植物細胞結構可使泥炭土像海綿般吸附營養源，避免營養源隨水快速地流失；泥炭土性質疏鬆，可增加土壤的保水、通氣性等。值得一提的是，泥炭土中含有一重要成分—腐植酸，能有效促進植物生長。

泥炭土在有機農業中已有許多的應用，例如把泥炭土摻入化學肥料中製成有機複合肥料，就是近來新開發的技術。這種有機複合肥料除了能取代化學肥料的使用外，也能改善土壤環境。另外，因為它是長效緩釋肥料，減少了營養源的流失、河川優養化等環境的破壞，也是其引人注意的特點。

有機複合肥料製造

這種新型有機複合肥料的合成看似簡單，多年來卻一直難以實現。因為泥炭比



泥炭粉呈深黑褐色，由泥炭土加工製成。

重 0.6，而肥漿比重 1.5，兩者相差懸殊，所以混合後只見泥炭懸浮在肥漿上。另外，泥炭屬有機物，硝酸鹽會與有機物反應，因此可允許加入的有機物也尚待確認。

研發人員經過多年的研究與改良，近年來終於歸納出泥炭有機物與硝酸鹽的反應機制，發現與硝酸鹽濃度及混合溫度兩個參數有關：高氮配方產品反應性較高，混合溫度較高時較易反應。因此只需訂出不同配方的肥漿溫度及最適的泥炭加料量，就可最佳化。

此外，泥炭比重輕，不易與肥漿混合的問題，只要更改設備的機構，把泥炭以螺旋式輸送導入混合器，同時向泥炭噴水霧，藉由增溼以增加泥炭比重，泥炭就可以完全融入肥漿。這個新技術的突破，不僅讓有機複合肥料能夠開花結果，也讓化學肥料工業對友善環境的貢獻邁進了一大步。

邵豪華
台灣肥料股份有限公司台中廠技術組

微生物肥料的妙用

| 吳珊如

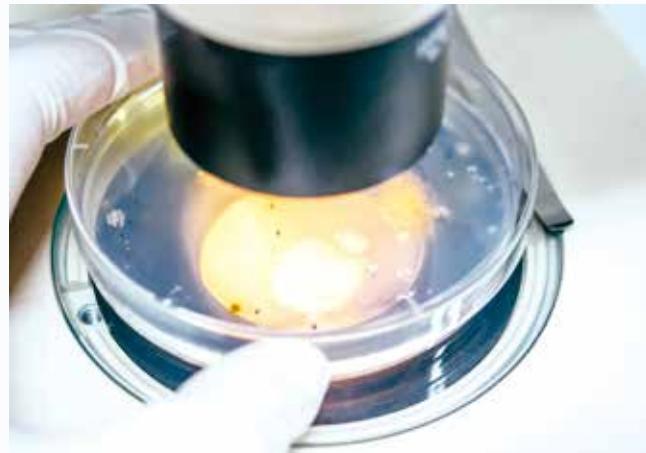
微生物在農作物生長過程中扮演重要的角色，有些會引起作物病害，有些則會幫助作物吸收養分並促進生長，可經由人工選拔培養成微生物肥料。

微生物是指用肉眼難以直接看到或看不清楚的一切微小生物，包括細菌、真菌、病毒、藻類和原生蟲 5 大類。微生物種類多、分布廣，流行性感冒、腸病毒、發炎感染、麵包發霉、食物腐敗等都是由微生物所引起的。

但微生物不是只造成這些不好的影響，在許多食品加工、工業生產、醫學及環保領域，都廣泛應用微生物，它也扮演不可或缺的角色。在農業方面，微生物對作物的生長具有有益或有害的作用，可直接或間接影響作物生產。對植物生長有助益的微生物種類繁多，透過人工選拔、培養、量產做為微生物肥料使用，是目前農業科技研究的一個主要項目。

定義及作用

自然界中有豐富的微生物資源，在農作物生產過程中，常把人工選拔培養的有益微生物製劑接種到種子或施用於幼苗與土壤中，對作物生長有直接或間接的幫助。這類微生物製劑稱為「微生物肥料」，指其成分具有活性微生物或休眠孢子，如細菌、放線菌、真菌、藻類及其代謝產物，應用於作物生產有提供植物養分或促進養分利用等功效。也就是利用活體微生物在土壤中提供作物養分、增進土壤養分的有效性，或改良土壤的理化、生物性質，以增加作物產量及品質。



透過人工選拔、培養、量產做為微生物肥料使用，是目前農業科技研究的一個主要項目。（圖片來源：種子發）

在農作物生產過程中，常把人工選拔培養的有益微生物製劑接種到種子或施用於幼苗與土壤中，對作物生長有直接或間接的幫助。

微生物肥料具有不易造成作物肥傷、無汙染及對環境友善的優點，在農業永續發展中可扮演重要的角色。

施用微生物肥料除了可直接增加土壤中的營養元素，以及提高化學肥料的有效性與利用率外，間接具有保護根圈、促進植物根系生長、幫助植物吸收水分與養分、直接或間接抑制植物病原菌、中和或分解毒害物質、增加植株抗逆境能力、提高移植存活率等的功能。

重要性

台灣地處熱帶與亞熱帶之間，氣候變化多端，降雨量高，土壤淋洗快速，加上長期的集約耕作模式，農業栽培常需使用大量的肥料。但長期使用大量的化學肥料，土壤的生物、理化性質會劣化，藉由微生物肥料促進化學肥料的利用效率，可降低化肥的使用量，也可適當補充土壤有益的微生物，改善土壤劣化情形。

相較於化學肥料，微生物肥料具有不易造成作物肥傷、無汙染及對環境友善的優點。因此，在合理化施肥觀念興起，以及全球有機農業的發展趨勢下，微生物肥料的開發與應用在農業永續發展中扮演重要的角色。

常見種類

不同微生物有不同的功能，目前已知有微生物肥料功能的菌株種類很多。在商品上一般可見單一或多種菌類混合的微生物肥料，現已開發應用的菌種有固氮菌、菌根菌、溶磷菌、溶鉀菌、分解菌等。

固氮菌能把空氣中的氮素固定為氨，轉變成作物可以利用的氮源，可減少氮肥

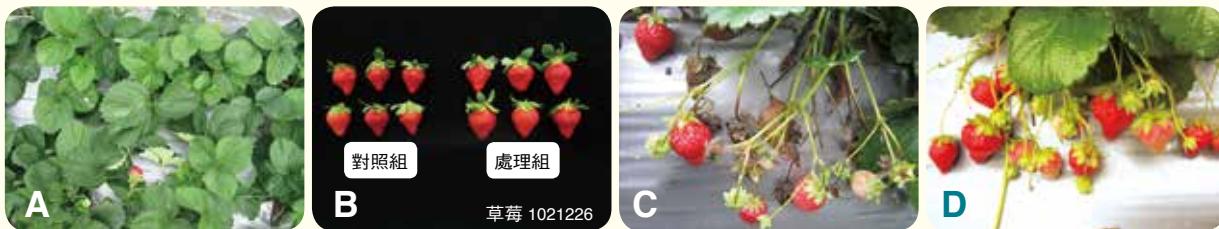


溶磷菌肥料菌種—液化澱粉芽孢桿菌不同菌株的菌落形態。左圖是Ba-BPD1菌株，右圖是BSMC菌株。

的施用。固氮微生物中應用最多的是根瘤菌，它與豆科植物根部共生後會形成根瘤，具有固氮活性，可把空氣中的氮轉換為銨態氮，並經植體傳輸供作物利用，作物則提供光合產物供根瘤菌利用，達到互利共生。

菌根菌是數種與植物根部共生真菌的統稱，包括內生、外生及內外生3大類，而以叢枝內生菌根菌的應用最為普遍。菌根真菌與植物根部結合共生形成菌根，菌絲會伸出根表面，就如同根毛的功能，可大幅增加植物根部的吸收面積。作物接種菌根菌的好處包括增加作物對水分及養分的吸收能力，特別是對土壤磷素的吸收增加，而有助於作物提早開花和結果、提高作物移植存活率、增加作物對環境逆境如乾旱和鹽害等的耐受性、增強作物根部抗病能力、減少土壤有毒物質的危害及肥料施用量。

磷肥施入土壤中利用率低，且移動性差，無機態的磷常與土壤中的鈣、鐵、鋁結合沉積，形成磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁等難溶型態，不易被植物吸收利用而大量累積在農地中。溶磷菌泛指具有溶磷能力



施用溶磷菌肥料有助於提升草莓產量及品質，並減少灰黴病的危害。圖（A）：施用肥料的草莓植株生長強健，葉片色澤鮮綠，且較挺立；圖（B）：處理組草莓果實明顯較大，單粒果重增加 19%；圖（C）：對照區草莓灰黴病發生嚴重，罹病果實呈褐色、腐敗病徵；圖（D）：處理區草莓果實健康，具商品價值。

的微生物，可把無效性磷轉變為有效性磷，提高磷肥的利用率，減少化學磷肥的施用。台灣目前市售的微生物肥料中，以溶磷菌產品數量最多，已有 23 個取得品目 8-03 溶磷菌肥料登記證。

土壤中有許多含鉀的礦物，但釋放速率緩慢。溶鉀菌是具有把礦物性鉀分解為水溶性鉀能力的微生物，可加速鉀礦物釋放鉀素養分，並增加鉀肥吸收效果。由於土壤中的含鉀礦物大多以矽酸鹽狀態存在，因此又稱這類菌為溶矽菌。

大分子有機物在土壤中需要先分解成較小的分子或無機物，才能被植物吸收利用，這是自然界物質循環中不可缺少的過程。當有機質分解過程受抑制時，可能導致有毒物質的累積，引起作物毒害作用或無法直接利用這些有機質。

分解菌是指可促進分解土壤有機物或有機肥料的菌類，這類微生物常與有機質混合應用，增加有機質的礦質化作用而釋出營養成分。分解菌的種類很多，作用的

範圍廣，可把大分子的有機質分解成小分子的有機或無機物如銨、二氧化碳等，甚至包括去除惡臭物的分解作用及解毒作用。此外，在土壤的腐植化作用中，微生物也扮演重要的轉化角色。腐植化作用所生成的腐植質能改善土壤的理化性質，更有利於農業生產。

除了上述的種類外，其他如產生植物激素促進植物生長的菌類、可聚含有機物促進土壤團粒化的微生物，甚至保護根圈或抑制有害生物降低病害發生的拮抗菌等，都可以算是廣義的微生物肥料。

使用注意事項

微生物肥料是以微生物本身做為肥料原體，是活體肥料，主要依賴大量有益微生物發揮生命活力，在旺盛的繁殖和新陳代謝下，進行物質轉化和不斷形成有益代謝產物而展現功效。因此，為了發揮微生物肥料最好的功效，使用時應注意微生物與土壤及作物條件的配合。

為了發揮微生物肥料最好的功效，
使用時應注意微生物與土壤及作物條件的配合。

微生物肥料可替代部分化學肥料，供應作物所需養分及提高土壤中養分的有效性，以減少化學肥料的施用量。

土壤質地、酸鹼度、有機質含量、排水通氣情形等，都會影響土壤養分的分布及其中的生態，進而影響微生物肥料的效果。因此，使用前需考量土壤的環境條件，若有不足時應先做好土壤改良。若是強酸性土壤，可先用石灰質材如苦土石灰、蚵殼粉等中和；若是強鹼性土壤，可用酸性質材（硫礦粉）中和；有機質缺乏的土壤則可以配合施用有機質肥料，提供微生物碳素與養分的來源。施用後要做好土壤管理，以確保施用的有益微生物能旺盛地繁殖。

微生物肥料內所含的菌體數量及活性是產品效果好壞的重要指標，活性高才能適應環境並發揮作用。由於菌是活的生物，有一定的保存期限，為確保品質，產品宜儲存於陰涼的地方或冷藏，避免日光照射，且開啟封口後儘量一次用完或儘速封口存放，以避免被雜菌汙染。此外，微生物肥料應避免與化學殺菌劑混合使用，以免影響菌數及活性表現而降低效果。在選購微生物肥料時，宜購買符合法規標準及取得登記證的產品，可確保產品的品質，安全也較有保障。

微生物肥料的接種愈早期愈好，可於種子播種時或穴盤育苗期在土壤或介質中接種混合，待種子發芽長出幼根時，就可接觸到微生物而發揮功效。微生物肥料發揮功能的主要位置是在作物的根圈，因此施用微生物肥料需要接觸到根系才易表現出顯著效果。各種作物在不同生長期對微生物肥料種類的需求不同，在營養生長時

期以重視氮與磷功用的菌種為主，開花結果時期則可使用與磷鉀功用相關的菌種。

有助永續農業

在農業生產過程中，肥料的使用及管理是重要的一環。化學肥料除了具有快速提供作物所需養分外，在長期大量使用下也造成了土壤劣化及環境汙染。微生物肥料可替代部分化學肥料，供應作物所需養分及提高土壤中養分的有效性，以減少化學肥料的施用量。

近年來，隨著環保意識抬頭與食品安全觀念提升，並在政府推動有機與友善環境耕作農業政策下，微生物肥料的開發及應用受到重視。農委會 106 年宣布的「友善環境肥料資材六大補助措施」中，更首度納入微生物肥料補助，希望透過教育宣導及補助政策改變農民大量使用化肥的習慣，以轉向友善環境栽培，達成優質生態、安全及健康土壤的永續農業目標。

吳珊如
台灣肥料股份有限公司研究發展處

有機驗證及栽培管理

| 吳鴻均

標上「有機」的產品，價格馬上翻倍，
你甘心掏錢買嗎？

有機農業

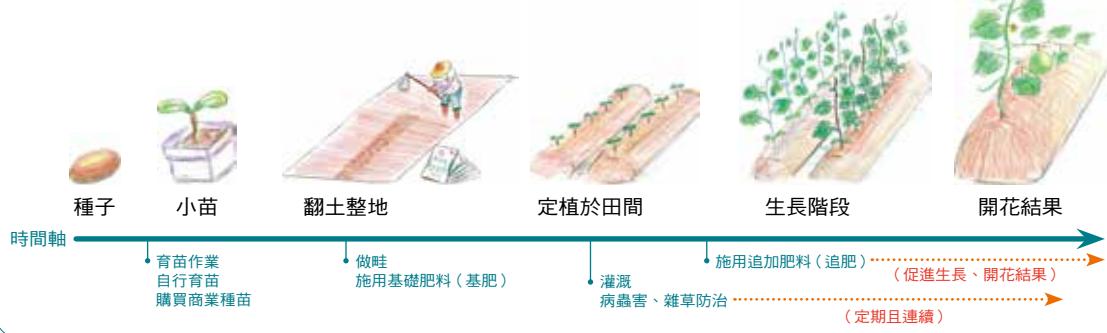
近代慣用的農耕操作方式，因為大量且不正確地使用化學藥劑、化學肥料，對於環境及授粉媒介昆蟲造成一定程度的傷害，例如有機磷類、類尼古丁類的農藥就有致癌、破壞蜜蜂神經系統的風險。而很多化學肥料含有硫酸根、磷酸根、氯離子，容易和土壤所含水中的氫離子結合變成硫酸、磷酸、鹽酸，長期累積造成土壤酸化。若施用過量的氮肥加上日照不足，則蔬菜容易累積過多硝酸鹽而不利人體健康。

早在西元 1920 ~ 1940 年間，就有人開始倡導與土地和平相處的農耕觀點，但受限於科技，且因非當時農業的主流趨勢，所以發展緩慢。直到美國海洋生物學家瑞秋·卡森於 1962 年出版了《寂靜的春天》一書，大家才意識到環境汙染的事態嚴重，有機農業才逐漸受到重視。

農委會對有機農業的定義是：「遵守自然資源循環永續利用原則，不用合成化學物質，強調水土資源保育與生態平衡管理系統，並達生產自然安全農產品目標的農業。」而且不能種植基因改良作物。

有機栽培管理

要了解有機栽培的整套過程，就讓我們先解析作物栽培的模式，通常如下：



因為作物生長多是靠根部吸收養分，所以土壤照顧好、根系強健，栽培就成功一半了。

怎樣才能知道農地上所用的方法是遵循上述原則呢？這就需要公正機構審查有機農業整體的耕作。

種苗來源選擇

挑選品種時，最好具抗耐病害的特性，可降低田間栽培時的病害管理難度，且不能選用基因改良的種子或種苗。

目前國內要取得有機種子、種苗相當不容易，因此「有機農產品及有機農產加工品驗證基準」特別規定，當合格種子、種苗無法取得時，可採用一般商業性種子、種苗。因此，買回種苗後，最好間隔7~10天再種於田間，避免種苗販售前有噴化學藥劑的疑慮。

土壤水源管理

在整體環境上，除了在有機農地周圍設有隔離帶，做為農場對於空氣中汙染物的緩衝區外，土壤與水源是農業命脈，因此有機栽培對兩者的基本要求是重金屬檢測須在標準以下，且不得檢測出農藥。

其次，要把土壤養好。因為不能施用化學肥料，所以就需要提高土壤的能力幫助作物吸收更多的養分。土壤內的有機質含量是一個重要的因子，當土壤內的有機質含量增加時，物理性質方面可促使土壤團粒化，加強保水排水能力。在化學性質方面，有機質內含腐植酸可促進土壤的陽離子交換能力，使土壤抓住作物所需的養分讓植物吸收。而在生物性質方面，有機質可做為土壤內微生物的養分，增加土壤微生物的多樣性。



自行育苗可以減少不必要的汙染



施用大量有機質且均勻撒在土壤表面，並均勻和土壤混合以達到改良的效果。

土壤內的益菌會與壞菌競爭養分達到族群的平衡，作物因而也較不易從根系感染病害。因此，添加益菌到土壤內也是一種加強土壤能力的方式，因為作物生長多是靠根部吸收養分，所以把土壤照顧好、根系強健，栽培就成功一半了。

肥料施用

有機肥料的選擇在有機栽培上是很重要的環節，不管是有機肥或化學肥料的外包裝都會有3個數字（氮素、磷酐、氧化鉀），代表著植物所需的三大要素氮、磷、鉀含量，這三元素的比例與使用量是影響作物收成的關鍵。像是要讓葉片旺盛的作物如葉菜類或瓜果類促進其初期生長時，就選擇含氮量比例高的有機肥料，而高磷鉀比例的有機肥可促進作物開花結果及果實膨大。

其次，要看有機肥料的品質及原料，有沒有臭味是挑選的指標。有機肥製作過程中發酵不完全，在包裝後會繼續發酵，就會產生酸臭味。酸臭味也與製作的原料成分有關，例如渣粕類的蛋白質分解就是酸臭味來源，禽畜糞則是大便的味道，這些都是發酵不完全的結果。這樣會使施肥之後再度發酵產生的熱傷到作物根部，造成作物生長情況變弱，甚至死亡，也會招來一些蠅類或蟲類採食，對於作物及環境都有不好的影響。

不過，在成分上若加入蓖麻粕，則可以防治某部分的土壤害蟲，一些動物性骨粉則是鈣和磷的來源，禽畜糞也是磷的主要來源，有些也會在肥料內添加微生物益菌輔助及加強肥效，因此看清楚有機質肥料的成分是很重要的。有機資材認證也可以做為挑選有機肥料的重要指標，有多重保障更具安全性。

有機資材認證可以做為挑選有機肥料的重要指標，有多重保障更具安全性。

肥料三要素



成分：

氮素—磷酐—氧化鉀—有機質

有機質肥料

3-2-5-80

20 公斤

簡單的作用如下：

- 氮素→葉片生長
- 磷酐→開花結果
- 氧化鉀→根系、果膨大
- 有機質→土改良

有機肥施肥技巧

在循環栽培下會有兩個提供作物養分的時間點，這是因為有機肥料肥分的釋放效果比化學肥料慢很多，且有機肥內含的三元素要經過轉換才能讓作物吸收。這種轉換效率通常在50%以下，且釋放效果也跟製作有機肥的原料有關。

這其中有非常複雜的計算方式，因此可依照農委會作物施肥手冊上的各種作物對於氮素、磷酐、氧化鉀的總需求量，略分為60~70%在定植前所用的「基礎肥料」（基肥），其餘30~40%在定植約1周後所用的「追加肥料」（追肥）。此外，需考量種植時的氣候、作物採收時間長短，以及是否是一次性收穫作物，來調整基肥與追肥的比例與次數。

基肥通常以粉狀和粒狀的有機肥料一起混合後施用於畦面，再與土壤混合拌勻。這方式對肥效較不浪費，且不同狀態的肥

料釋放效果也會有差異，可在不同時間點促進作物生長。

追肥以粒狀和液態為主，施用較方便，原則上也得依作物生長狀況施用。但因有機肥的肥效較慢，往往發現不足、生長不佳時再施用，已經趕不上經濟生產。因此，於定植後 7 天開始追肥，每周一次，並視作物採收時間長短調整。粒狀肥施用方式以條施或穴施為主，液態肥則噴灑葉片正面或根灌，才可以讓作物充分利用。

病蟲害與雜草防治

「預防」是有機農業上防止病蟲害與雜草最有效的方法。當肥沃土壤並改善土壤生物多樣性後，隨之而來的是病蟲害及雜草防治。蟲害防治自古就是農業生產中一個很重要的環節，因這些害蟲除了本身以啃食、刺吸、蛀食的方式破壞農作物根、莖、葉、花、果實造成傷口外，也是一些病害的媒介，讓這些細菌、真菌、病毒等從傷口感染農作物造成歉收。而雜草則是這些蟲害及病害的溫床，又會與農作物競爭養分，因此防病蟲害首先得防草。

在不能使用除草劑的限制下，可以在整地做畦後，用物理方式大面積覆蓋銀黑色塑膠布或雜草抑制蓆，配合每周例行人工除草控制蔓延，也可移植矮性或地被植物抑制大型雜草以減少病蟲害的躲藏面積。

蟲害則在族群還沒爆發前就得開始防治，可設置黏蟲板觀察蟲害的密度，並從定植時開始定期噴灑防治資材如蘇力菌、矽藻素，以及設置引誘性費洛蒙等，這對



尚未種植前，基肥條施於畦上之後再覆土拌勻，定植 7 天後施用追肥。



栽種初期就開始定期噴灑有機栽培可用的防治藥劑

於毛毛蟲類害蟲防治非常有效。而黑殭菌、菸草浸泡液可降低一些鞘翅目害蟲的活力；礦物油類的使用對於葉蟻、蚜蟲、介殼蟲、粉蟲這類微小型害蟲也有不錯的效果。此外，可用天敵防治，例如在田間釋放瓢蟲、草蛉幼蟲。

| 抑制病原菌及提高作物抗性是有機栽培防治病害的大方向。

在病害方面，使用益菌保持土壤內菌相平衡以抑制壞菌，並促進作物根系生長。根系生長良好植株就強健，其抗病害能力自然隨之提升。因此，抑制病原菌及提高作物抗性是有機栽培防治病害的大方向。

甚至會在作物周圍栽培一些忌避作物如蔥、萬壽菊等，藉由這些作物的氣味或分泌的二次代謝產物驅趕害蟲或抑制病原菌。又作物收穫後可淹水田間及翻土後太陽曝曬，也可以減少下期耕作時病蟲害的密度。上述這些防治方法都要選擇有機農業適用資材。

有機驗證程序

有機驗證機構的任務就是檢視這些做法是否都符合「有機農產品及有機農產加工品驗證基準」。國內目前有 13 家經過國家認證的有機驗證機構，遞交申請文件審核無誤後，就開始進入驗證程序。

首先確認農場區域是否符合規範，包含地理位置、隔離帶、周遭環境，以及到現場取土樣、水樣送檢確定沒有問題後，每年到農場稽查，巡視環境是否有汙染、有機肥料及防治資材是否都是符合法規的商品。此外，抽查農場的田間工作紀錄是否詳實記載使用有機肥料及防治資材的種類、用量、次數及採購單據，栽培曆規畫是否連續且正確，是否有生產銷售與品管紀錄、申訴抱怨處理程序等。

最後在現場隨機採樣農產品，帶回檢驗是否有農藥殘留及重金屬汙染。若在稽查中發現有不符合規定而情節重大者，可能會要求提出改善報告或終止驗證。

農場如果種植短期作物如蔬菜與瓜果類、稻米經過 2 年，長期作物如果樹、



栽培忌避作物青蔥於田間，藉由其氣味及根部分泌的含硫化合物可減少病蟲害發生。



茶樹經過 3 年以上，且符合有機栽培規範的操作，並經有機驗證機構驗證後，就可取得「有機農產品驗證證書」。從申請開始，雖符合有機栽培法規但尚未取得有機驗證之前，都視為「有機轉型期」，開始有機栽培 3 個月以上就可申請「有機轉型期標章」。

把這些農場生產的農產品送到驗證合格的包裝場包裝、分裝，甚至加工，最後送到超市、賣場等通路，消費者就可明確分辨有機農產品、有機轉型期農產品與一般農產品。這些農場也可以自行擺攤販售，但是散裝的有機農產品、有機轉型期農產品陳列於販賣處，要以告示牌提供品名及原產地，並展示驗證證書影本。

有機農產品的作用

一個成功的有機農場經歷 2 ~ 3 年的有機栽培並經相關機構輔導後，已經沒有

使用任何人工合成化學物質，並建立起一個生物相豐富且平衡的生態。這對於區域性環境保護能產生一定程度的作用，農夫也不用因為長期接觸這些化學藥劑導致身體出現狀況，而周年生產多樣化的農作物，消費者大可安心食用，不必擔心吃到殘留的化學農藥。

當面對較為昂貴的有機農產品時，想想看一方面在有機驗證的把關下可以吃得健康安心，另一方面可以支持這些友善大地的農夫們願意給「孕育萬物的母親」一個緩和且溫柔對待的機會。我們的購買行動的確可以拯救以往被我們傷害的土地，建構永續發展的農業。

吳鴻均

台灣肥料股份有限公司研究發展處

深度閱讀資料

行政院農業委員會有機農業全球資訊網－有機資材：<https://www.afa.gov.tw/cht/index.php?code=list&ids=556>。

2017 國內驗證機構標章：<http://info.organic.org.tw/supergood/front/bin/ptlist.phtml?Category=100989>。

國內外常見驗證機構標章：<http://info.organic.org.tw/supergood/ezcatfiles/organic/img/img/6251/374515390.pdf>。



碳纖維 原本不是一根碳

黃博雄

碳纖維很難生產，但應用很廣。

你可以輕易地找到碳纖維各式各樣的應用，但是關於碳纖維的核心製程很少揭露，原因是碳纖維的前驅物通常是合成出來的，每一種前驅物都是大企業的獨門祕方。

「炭」與「碳」到底差別在哪？令人有些困惑！如果不那麼考究，筆者的見解是：早期常用炭，現今常用碳，傳統的技藝常用炭，現今的科技常用碳。再者，若聽到外國人說「charcoal」，那八成是炭；如果聽到「carbon」，那鐵定是碳。碳纖維（Carbon fiber）是近百年的科技顯學，科技人知道碳纖維如何使用，但不見得知道碳纖維如何製造。在談論「碳纖維原本不是一根碳」之前，先說明「木炭與煤炭原本也不是一塊炭」。

木炭與煤炭原本不是炭

前不久，看到一則報導：日本熊本鬧區大火延燒了 20 棟木造老房子，而從祝融之後的景象可看見，木造梁柱都變成了炭梁炭柱，不過它們的型態依舊。既然木造梁柱都是上乘好材（例如櫸木、檜木），當然可以說那些炭梁炭柱也是木炭，只是未經嚴謹的溫度與氣氛掌控下所形成的木炭。所有的木質素在燃燒的過程中若供給大量的氧氣，木質素都會燒成了「灰」，灰可以說是木質素在轉換成碳素時過度燃燒的產物。舉凡植物都含有木質素，例如竹子、椰子殼、棉花等。



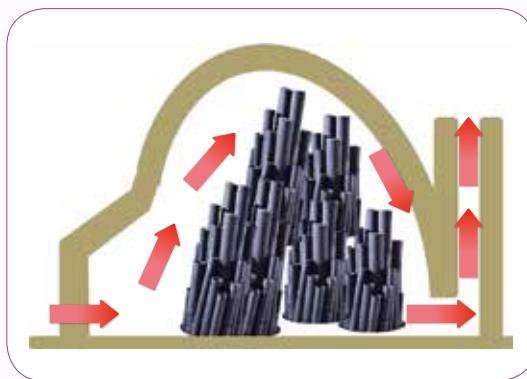
日本熊本鬧區大火延燒 20 棱木造老房子，梁柱都變成炭。（圖片來源：Yahoo Japan）

碳纖維是近百年的科技顯學，
科技人知道碳纖維如何使用，但不見得知道碳纖維如何製造。

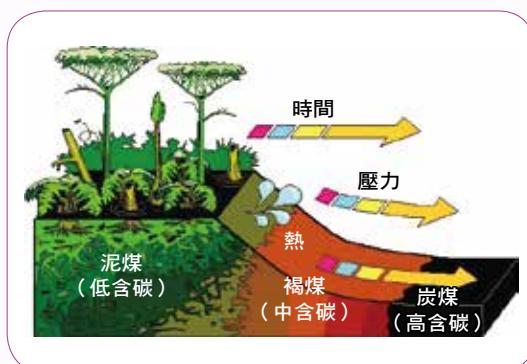
知道木質素系（例如：橡木、孟宗竹、椰子殼）如何燒成炭之後，碳纖維如何燒出來就不難想像了。常聽到的備長炭就是用橡木燒製成的炭，其他如：竹炭就是用孟宗竹在窯爐內燒製成的炭，椰子殼燒製成的炭叫做椰殼炭。橡木、孟宗竹、椰子殼同屬木本質素系，它們都是炭或碳的前驅物。這些前驅物的炭化是不可逆的，也就是以現在的科技來說，竹炭是不可能再還原成孟宗竹，因為竹炭是孟宗竹經過化學反應徹底質變的結果。

燒炭工藝再怎麼傳統，除了薪材的本質好與壞之外，不外乎是溫度控制與氣氛控制。燒炭的過程絕對是欲速則不達的製程，當木質素加熱到高於熱解溫度時，從攝氏 200 ~ 400 度時就開始分解出揮發性的氣體，這時空氣中的氧需求量較高，稱為氧化反應。接著，隨溫度逐漸升高（最高溫度約攝氏 1,000 度），必須非常小心地調節空氣，以避免氧氣太多而燒成灰，這就是碳化反應。在高溫下反應後所留下來的碳成分通常必須超過 70% 以上，在本質上這當然與原來的木質素只有約 30% 的碳有很大的不同。

聽說過煤炭也是植物炭嗎？煤炭的形成是遠古森林或沼澤的植物在分解之前就被埋在地底下沉積而成。因為長期處於較高的地層溫度和壓力下，木質素用數萬年的時間慢慢地轉換成碳質。遠古植物遺骸埋在地層下，經過泥炭→褐煤→煙煤→無煙煤的「熟成」之後，碳質越來越高，甚至可以從無煙煤轉化成石墨結構。嚴格說來，煤炭是植物經由地熱、高壓等環境的作用下產生的化石。因此地底層可以說是一座又一座的地下窯爐。經由上述的說明，當然可以說木炭、煤炭原本不是炭，是木質素系的化合物。



製造竹炭用的傳統窯爐



地底層可以說是一座又一座的地下窯爐（圖片來源：<http://slideplayer.com/slide/4195751/>）

為何地方政府禁用生煤

這得從英國的工業革命說起。六十多年以前的倫敦霧霾就像現在北京的天空，不但能見度很低，也造成英國史上最嚴重的公害事件之一。霧霾成因是大量煤炭燃排所致，當時倫敦政府的報告指出：霧霾導致數千人死亡，近十萬人受到呼吸道疾病影響。大致說來，優質煤含碳高，劣質煤含碳低、雜質多（例如氮、硫化合物），因此燃燒後形成硫化物、氮氧化物等有害物質。劣質煤其實就是地層的窯爐碳化反應不完全所致，優質煤因碳化反應完全，碳量高（90%以上），雜質含量較低。



碳纖維有各別的特性分野，高強度需求者的原料以聚丙烯腈系纖維為主，高模數者則採用瀝青系纖維，特殊多孔化纖維則以嫘縗系纖維為主。

談到煤的品級，是根據煤的發熱量、灰分（不能燃燒的部分）、含硫氮量等因素而定。例如做為燃料，含硫高的燃燒會產生二氧化硫汙染大氣，必須有脫硫的設備。煙煤就是生煤，直接做為燃料會產生黑煙，造成大氣汙染。無煙煤質硬，含碳量最高（92%以上），是優質煤。泥煤是泥狀物質，含碳量低（60%以下），其餘40%是雜質，燃燒時發煙量最多。

碳纖維

前面介紹了木炭與煤炭，相信大家不再懷疑炭或碳是在一定的溫度—壓力—氣體環境下孕育出來的。碳纖維這門技術是高科技的代名詞，嚴格說來，碳纖維很難生產，但應用很廣，你可以輕易地找到碳纖維各式各樣的應用，但是很少揭露關於碳纖維的核心製程。原因是碳纖維的前驅物通常是合成出來的，每一種前驅物都是大企業的獨門祕方，歹竹（不好的前驅物）出不了好筍（優質的碳纖維）。

煤的種類

種類	含碳	性質
無煙煤（硬煤）	碳量約 92%	燃燒時火力最大，且無煙，煤質最好
半無煙煤	含碳量達 90%	性質介於無煙煤和煙煤之間
煙煤（軟煤）	含碳量接近 80%以上	色黑無光澤，易點火有煙
半煙煤	含碳量約 75%	介於煙煤和褐煤間
褐煤（木煤）	含碳量約 60%	褐色，質鬆，易點火，燃燒時火力很小，且發煙很多
泥煤（低級煤）	含碳僅約 50%	形狀如泥，火力最小，發煙最多

（資料來源：維基百科）



60 年前倫敦的天空（圖片來源：維基百科）

全世界的碳纖維 90% 以上的前驅物來自聚丙烯腈系，而前驅物來自於瀝青系與纖維素嫘縗系的則不足 10%。大體上，三者仍有各別的特性分野，還不致彼此競爭。高強度需求者的原料以聚丙烯腈系纖維為主，高模數者則採用瀝青系纖維，特殊多孔化纖維則以嫘縗系纖維為主。

嫘縗系碳纖維 婁縗系的纖維是最類似炭的前驅物（例如：橡木、孟宗竹、椰子殼），

因為它們都屬於木質素。不難想像，如果有一根纖維本質像前面提及的木質素，它一定可以燒成纖維。

最典型的木質素纖維就是棉，也是最早想到用來做為碳纖維的前驅物。不過棉纖維因棉花在生長時有太多的非晶結構，也就是瑕疪，在碳化過程中強度損失太大，因此通常使用再生纖維素纓繫製造碳纖維。纓繫在碳化時會有大量碳損失，因此僅有 20 ~ 30% 的產率，但所得到的碳纖維的熱穩定性甚佳。

纖維狀的碳纖維（活性碳）則是因應國防上的需求而於西元 1970 ~ 1980 年代才開始研究開發，其主要用途是做為化學戰防護衣服的濾毒材料。因此，纖維狀活性碳的開發是先從織物型態開始，也就是先把纖維紡成紗、織成布後，以布狀型態做為前驅體。經過前處理加工，然後再經氧化、碳化、活性化等工程製成織布型態的活性碳，進而用來做為化學戰防護衣服的濾毒材料。

瀝青系碳纖維 原油經高溫提煉後的殘質約含有 90 wt%（重量百分比）以上的碳素，若能進行精緻瀝青化製程，例如去除其中的不純物，便能獲得純度極佳的瀝青。再經由瀝青紡絲後（碳纖維前驅物），復經不融化、碳化與石墨化工程，最後得到碳化率 85 ~ 95wt% 的碳纖維。瀝青系碳纖維價格低廉，來源豐富，不虞匱乏，但前驅物製造困難，紡絲裝置特殊，碳化前需要經過不融化處理，因此發展不易。製作的關鍵技術在於瀝青的純化及紡絲時的熱安定化。

瀝青的碳元素含量高，因此碳化率甚高，可達 70 ~ 80%。但這種碳纖維的抗張強度和壓縮強度卻無法與聚丙烯腈系碳纖維相比，在用途上受到一定的限制。瀝青的來源可區分成煤焦油瀝青及石油瀝青兩大類，煤焦油瀝青分子組成較複雜，但這

兩者的分子量分布較寬，分子結構紊亂，無法形成高順向排列，除非瀝青在純化過程中能去除小分子量直鏈狀物質並有效控制分子結構。

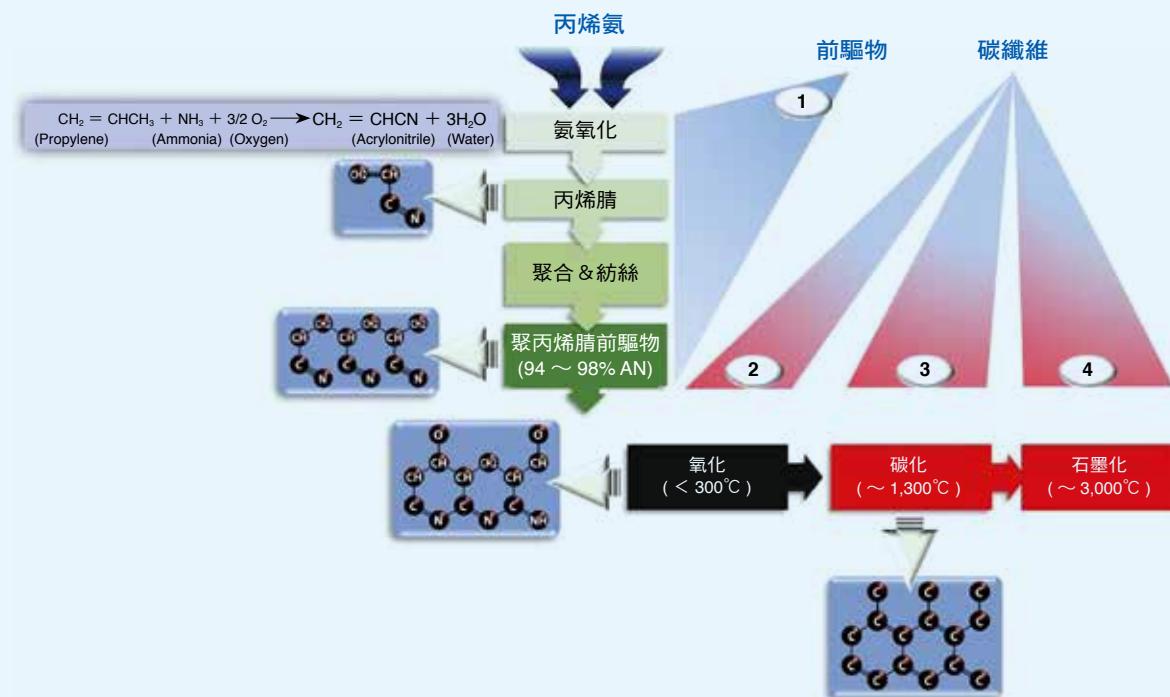
聚丙烯腈系碳纖維 從碳化製程結果來看，聚丙烯腈纖維似乎是目前製造高性能碳纖維前驅體的最佳選擇。因此近年來全球所生產的碳纖維，有 90% 以上是以聚丙烯腈系為前驅物原料。

把聚丙烯腈系纖維燒成高強度的碳纖維，其過程必須經過穩定化（或稱氧化）的重要步驟。穩定化過程主要有 3 種反應，分別是：環化反應、脫氫反應、氧化反應。接下來的碳化過程是穩定化後，聚丙烯腈母材纖維在惰性氣體中，且溫度高至攝氏 1,500 度的條件下進行熱處理。在熱處理過程中除了碳元素外，其他元素幾乎都以副產物的型式被除去而形成像石墨的結構。

聚丙烯腈系纖維的石墨化是指碳化反應後的纖維，增加微晶的尺寸可使得碳纖維結晶更完整。但微晶的規則排列則需借助纖維在攝氏 1,500 度以上的熱處理，例如把溫度控制在攝氏 2,000 ~ 2,500 度，甚至高至攝氏 3,000 度。不過，聚丙烯腈系纖維的前驅物中必須含高純度的丙烯腈，才能練就優質的氧化、碳化甚至石墨化的纖維。

殊途同歸

真的是殊途同歸，「途」者前驅物製程也、「歸」者碳也。碳纖維的前驅物不管是聚丙烯腈系、纓繫系或瀝青系，這些纖維聚合製程完全不同，但經高溫製程之後就變得非常相似，因為它們都變成了碳的纖維。碳纖維的高溫製程是類似的，首先是氧化製程，在可掌握的氧氣供給與可溫控的環境（攝氏 200 ~ 400 度）中進行，



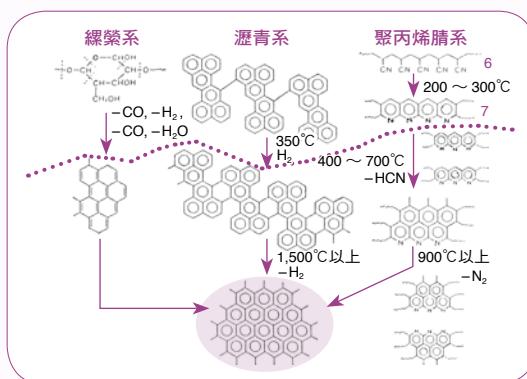
高純度的丙烯腈才能練就優質的氧化、碳化甚至石墨化的纖維。

隨後在惰性氣體保護下，以攝氏 900 ~ 1,500 度的高溫趕走碳以外的物質，最後加熱到攝氏 ~ 3,000 度而形成石墨化碳纖維。

聚丙烯腈系碳纖維的性能好，產率較高（約 60 %），因此聚丙烯腈系的碳纖維約佔總碳纖維產量的 90 %以上。嫘縈系碳纖維的產率只有 20 %，瀝青系碳纖維的產率約 70 %以上，成本最低，很有潛力發展低強度高模數的產品應用。不管是哪一種系統的碳纖維，每一階段的產出物都是很好的商品，例如在氧化階段（攝氏 300 ~ 350 度）製得耐燃纖維，在碳化階段（攝氏 1,000 ~ 1,500 度）製得碳纖維，碳纖維再經攝氏 2,000 度以上高溫處理可以製得石墨纖維，含碳量高達 99 %以上，是航太用級的材料。

煉碳如煉鋼

每根碳纖維的直徑約 5 ~ 10 微米，碳原子晶體沿著纖維長軸方向排列，因此具



3 大系列碳纖維的前驅物雖然本質不同，但在熱處理後的化學結構相似（都是碳環）。（圖片來源：<http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/user/T/H/T093000078-20110524105639.pdf>）

有質輕強度高的優異特性。同體積下，碳纖維的重量是鋁的 1 / 2、鐵的 1 / 5，然而碳纖維的強度（抗拉強度）卻是鋼的 10 倍。

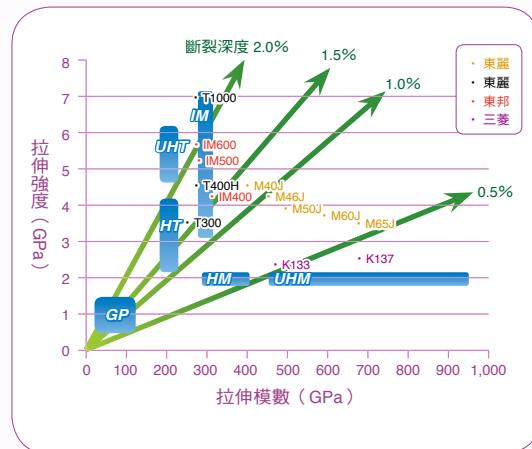
高模數碳纖維的剛性表現佳，而高強度碳纖維的強度表現優。碳纖維由於前驅物、製程及碳化條件不同，製成的碳纖維

碳纖維除了具強度與模數的優異特性之外，長期受力下的尺寸安定性佳。但碳纖維最大的致命傷是耐衝擊性較差，且在強酸作用下會發生氧化反應。

的機械強度及其他物性化性有很大的不同，而依強度與模數的分布，區分為 5 種不同等級：高模數纖維，模數 > 500 GPa；高強度纖維，強度 > 3 GPa；中模數纖維，模數 $100 \sim 500$ GPa；低模數纖維，模數 $100 \sim 200$ GPa；一般級纖維，模數 < 100 GPa，強度 < 1 GPa。

碳纖維除了具強度與模數的優異特性之外，長期在受力下不易發生潛變，也就是尺寸安定性佳。另外，它具有耐疲勞性佳、熱傳導率高、摩擦係數小、潤滑性佳、熱膨脹係數小、耐腐蝕性佳、X-ray 透過性佳、比熱及導電性介於非金屬和金屬之間等優點。但碳纖維最大的致命傷是耐衝擊性較差，而且在強酸作用下會發生氧化反應。

即使再過 20 年，碳纖維仍會是高科技的化身。聚丙烯腈系的前驅物牽動著全球碳纖維供給系統，初估每年都有 10% 的成長。這是因為汽車工業輕量化的蓬勃發展，以致碳纖維用量遽增，使得汽車產業成為碳纖維四大應用產業（包含儲能、航太、運動及汽車）之一。碳纖維市場推估到 2018 年總生產量會達 8 萬噸以上，相當於兩千多億日圓，2020 年產量將增至每年十數萬噸。



碳纖維的高強度與高模數靠的是煉碳功力

為滿足區域性需求，碳纖維的生產基地（指碳化製程，非前驅物生產製程）多位於歐美，主要是供應飛機機身用（碳纖維複合材料）。一直以來，聚丙烯腈系前驅物的核心技術幾乎由日本掌握，這些前驅物的生產廠商都是日本公司，而且他們不斷地併購。換句話說，再過 20 年，碳纖維的關鍵技術仍會由少數幾個國家所掌握。

黃博雄

紡織產業綜合研究所

新世紀吸音材料— 異型微孔吸音板

| 許榮均、陳智隆、呂世明

根據圓管中聲阻與管徑平方有反比的關係，若把圓管的孔徑縮小到一定的尺度，聲阻應會顯著地增加，聲音的吸收效果就會更好。

聲學是在 19 世紀由英國的雷利爵士（Lord Rayleigh）和德國的赫姆茲（Helmholtz）兩位大師集前人奠定的基礎所成就的完備理論，他們也把這項聲音的科學運用在日常生活中。與聲音有關的運用遍及許多領域，例如：建築聲學設計、樂器設計、汽車排氣管聲響設計、消音器設計、噪音主動控制、機械設備故障診斷、非破壞性檢測、超音波設計、電聲換能器、地震偵測等。

當聲音是為人所喜歡並接受時，眾人會為之喝采，但若聲音轉為人們不喜歡的音色，也就是噪音時，人人避之惟恐不及。在聲學的應用中，噪音的控制或室內音質的改善一般都以吸音處理。市售的吸音材料種類眾多，性能也各異。一般而言，傳統使用的大多是多孔纖維性吸音材料，如玻璃棉、礦棉、岩棉、泡棉、麻纖維、棉纖維等。但這類吸音材飽受環保人士批評，責難其對環境造成的汙染，這是因為傳統的多孔纖維性吸音材料有以下的缺點：

(1) 吸音泡棉製品非常容易著火，一旦燒起來火勢蔓延很快，同時會產生有毒的化學濃煙，非常危險。例如 2011 年台中市 ALA PUB 大火造成九死的慘劇，調查發現該場所的天花板裝潢了易燃的泡棉，市府早知這個缺點卻遲無作為，成了爭議的焦點。



吸音板（圖片來源：種子發）

| 在聲學的應用中，噪音的控制或室內音質的改善一般都以吸音處理。

尋求無纖維化綠色吸音材料勢在必行，
近年來有一種新型的消音材料開發出來，那就是超微孔金屬吸音板。

(2) 玻璃棉或岩棉這類纖維性吸音材料是不助燃也不自燃的材料，但由於其纖維細小，在安裝與切割的過程中會產生細短的纖維飄浮在四周空氣中，若沾在衣服或皮膚上會有刺痛感，對人體呼吸道及肺部傷害尤其嚴重。

(3) 吸水性強，表面不美觀，使用在戶外，遇到下雨或潮溼的環境容易破壞，需要進一步防護補強處理，因而限制了使用的機會。

(4) 多孔吸音材料耐用度較差，使用期僅約兩年就會風化或掉屑，而降低其消音效果，甚至失效，使得噪音控制的維護成本增加。

綜合上述，尋求無纖維化綠色吸音材料勢在必行，很幸運的近年來有一種新型的消音材料開發出來。它除了具備優秀的消音性能外，又可以克服發泡類和纖維類吸音材料的不足和缺陷，那就是超微孔金屬吸音板。

市售傳統吸音材

吸音材種類	代表性材料	吸音特性	吸音率
多孔性	玻璃棉、岩棉、泡棉、礦棉麻織與棉纖維等吸音材	具不錯的中高頻吸音能力，背後預留空氣層有助低頻吸音能力提升。（多孔性材料多依材料厚度決定材料的吸音率，也就是材料厚度越厚，吸音率越高）	0.4 ~ 0.9
板狀	合板、石膏板、塑膠板、金屬板、水泥板	吸收低頻較有效。（這種材料對低頻效果佳，但中高頻以上效果較不佳，目前噪音控制較少使用這種材料。）	0.2 ~ 0.4
穿孔板	穿孔石膏板、穿孔合板、穿孔鋁板、穿孔鋼板、細孔板	一般使用狀態吸收中頻，與多孔性材料配合使用時吸收中高頻，背後預留空氣層還能吸收低頻。	0.4 ~ 0.9
異變型 微孔板	微孔吸音鋁板、微孔綠建材吸音鋁板	屬於吸收全頻特性，可藉由控制背後空氣層厚度，削減低、中、高頻音能，低頻尤佳。	0.7 ~ 0.9

微孔金屬吸音板

微穿孔金屬吸音板是一種共振吸音結構，由孔徑在 1 毫米以下的穿孔薄板和板後的空腔所構成。由於這種構造有不受材料限制，又可回收重複使用、堅固等優點，成為今日頗受歡迎的噪音控制結構。

利用「微小孔」和「窄縫中空氣的摩擦」以吸收聲能的概念，可以追溯至 1941 年的俄羅斯科學家瑞斯捷金（Rschevkin）。但是其理論研究、實驗證明和實用方向的完整建立，則是由中國科學院院士馬大猶教授於 1975 年完成的。

馬大猶教授是在研究降低火箭噪音的計畫中，對原有的穿孔板結構吸音理論仔細分析。他發現根據圓管中聲阻與管徑平方有反比的關係，若把圓管的孔徑縮小到一定的尺度，聲阻應會顯著地增加，聲音的吸收效果就會更好，而且這樣也可以簡化原有穿孔吸音板，板後需填加多孔吸音材料的工法。



馬大猷教授除了導出單層微穿孔板的吸音理論外，也研究了雙層微穿孔板。所謂雙層就是在單層板的後面空腔中再加一塊微穿孔板，形成兩個空腔，經過計算和實驗證明，雙層微穿孔板吸音結構是加寬微穿孔板吸音頻帶的一個有效方法。

1996 年馬大猷先生再研究高聲強作用下的微穿孔板性能，並於 1997 年提出了微穿孔板吸音結構的準確理論與設計。他發現在穿孔板常數 k 值小於 1 的範圍內，微穿孔板吸音具有寬頻帶的性質，所需空腔深度約為 $1/4$ 波長，但當穿孔板常數 k 值大於 2 時，微穿孔板的吸音性質就會近似於 1975 年他提出的微穿孔板理論，其頻帶較窄，但空腔甚淺。

由於在 1993 年時解決了德國新建聯邦議會大廳的嚴重聲學問題，微穿孔板的產品開始聲名大噪，確定了其功效。原來德國這座圓形大廳四周是由玻璃圍起來的，有嚴重的聲音聚焦現象，明知問題已出現，但建築師仍堅持己見，一定要保留玻璃圍牆的透明性，於是中國聲學科學家查雪琴首創的有機玻璃吸音板就成為唯一可選擇的材料。

當時的設計是利用 5 毫米厚的有機玻璃板，使用雷射光打出直徑 1 毫米以下的無數微孔，再把它裝在厚玻璃牆上。完工後實測發現確實有很好的吸音效果，自此微穿孔板吸音材料的品種又多了一項。1997 年更確定微孔的孔徑在 0.5 毫米以下，開孔率在 1% 以下。

國內發展微穿孔板的理論或實驗，始於台灣南部某公司成功開發超微孔金屬板

應用材料。自 2001 年起，配合國科會產業提昇計畫與成功大學音響研究室進行研究，成功開發出寬頻的「幾何圖型超微孔吸音板」，孔徑只有 0.04 毫米，遠小於各國開發的 0.3 毫米。

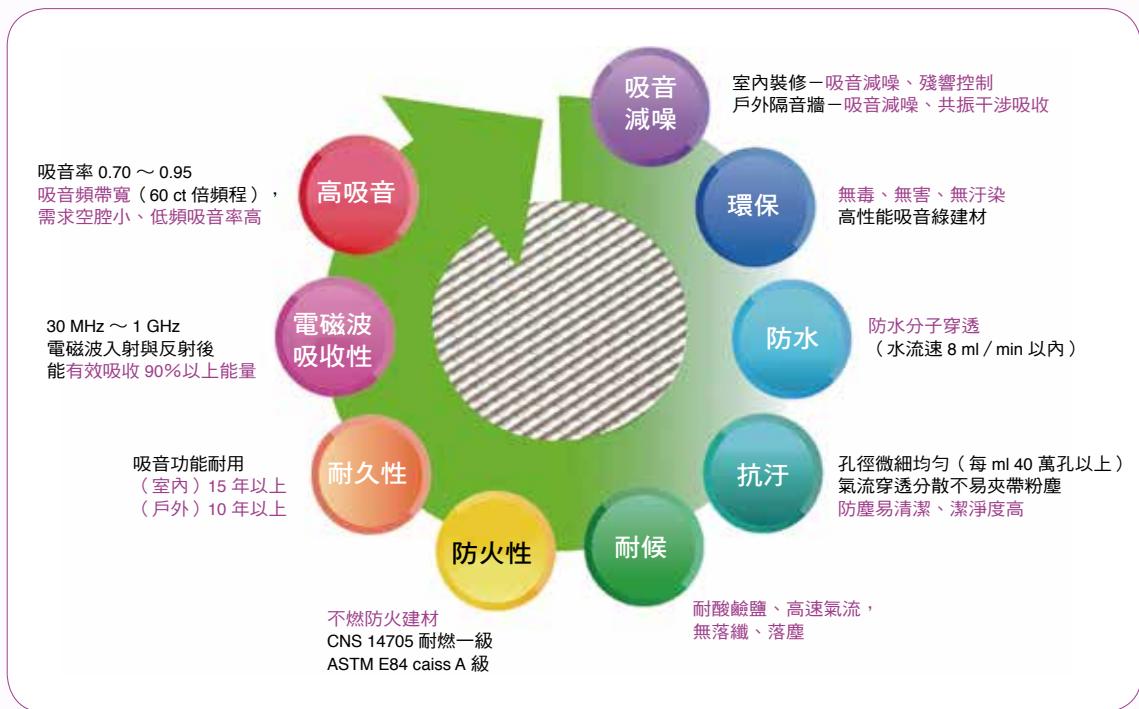
超微孔金屬吸音鋁板又較傳統的礦棉、玻璃棉材質更具吸音效率，且具環保、防塵、防火、防水、無毒害等特性。實測吸音率（NRC）更高達 $0.7 \sim 0.9$ ，吸音效率也不會因時間而遞減，與傳統吸音棉 $3 \sim 5$ 年必須更換相比，更具環保及成本優勢，可以說是健康的建材。

這項產品除了可當成傳統建材吸音板外，另外因材質是金屬，又可應用在高溫、高溼、超淨與高速氣流的場所，如地鐵、隧道、音樂廳、汽車、電器、醫院等，在建材、運輸、振動、演藝、環控等產業都有很大的發展空間。微穿孔板材具有的優勢是：不需貼覆任何吸音材料就有良好的吸音能力；全金屬鋁板不燃燒且易回收；無傳統吸音棉吸溼導致吸音能力下降的問題，適用於各種環境。

超微孔金屬吸音鋁板

異型微孔吸音金屬板不同於傳統的直圓孔，是異型斜向的幾何孔，也就是正面與背面的孔徑不在同一個軸線方向上，而呈現一個角度的斜面，孔徑的形狀也不相同。這樣的加工技術得到的孔型吸音效果，比微孔理論的傳統直圓孔好、吸音的頻寬廣，配合背後空氣層的構造設計又可以調整各頻譜噪音的吸收。

超微孔金屬吸音鋁板較傳統的礦棉、玻璃棉材質更具吸音效率，且具環保、防塵、防火、防水、無毒害等特性，吸音效率也不會因時間而遞減。



微孔吸音鋁板功能分析

低頻部分可以獲得比傳統多孔質吸音材還好的效果，而中高頻部分則呈現適當的吸音效果，不至於像傳統多孔的吸音材（如岩棉、玻璃棉、聚酯棉）般，高頻的吸音效果很好，低頻效果則很差，雖然聲音能量的總音壓降低了，卻讓低頻遮蔽了中高頻語音的清晰度，造成不佳的溝通環境。這一特性千萬不可輕忽！

微孔金屬吸音鋁板的研究仍不斷發展中，從最初的單層結構到雙層結構、三層結構，微穿孔板的吸音性能也在大幅改善。對微穿孔板進行不同型式的串聯和並聯的結構組合，也可提升其吸音性能。研究顯示單層異型微孔吸音板在不同背後空腔厚度下的吸音率，性能比現行多孔質吸音材料頻寬還寬，特別是低頻部分。二層微孔吸音材設計更可在同空腔中針對環境噪音

新穎吸音材料的分類

21世紀吸音材料的分類

被動式吸音材（多孔質吸音材）

板式共振吸音材（薄膜、薄板、複合板）

亥姆霍茲共振器（穿孔板、開縫板、膜共振）

微孔板

干涉消音器

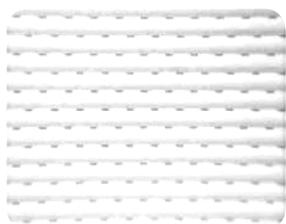
有源吸音器（主動控制吸音器）

特性調整吸音頻譜，另外也發現二層微孔吸音板具有可調式吸音頻譜的特性。

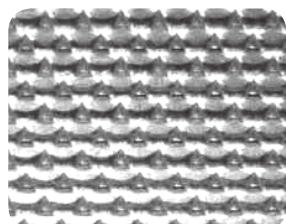
多孔吸音材料最為人垢病的缺點就是髒汙！尤其是台灣這種高溼度、灰塵多的環境，要保有材料的潔淨度與功能非常困難。因此大多數公共工程的天花板材無不



異型斜向微孔吸音板細部結構圖



波浪面 / 正面
50 倍放大

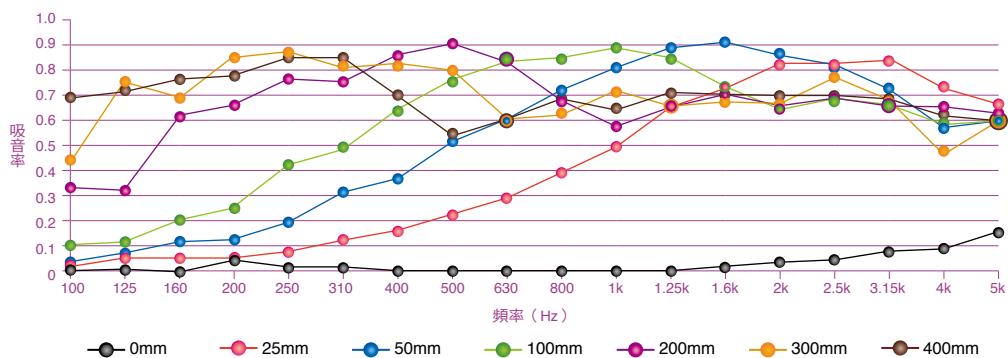


幾何孔面 / 背面
50 倍放大



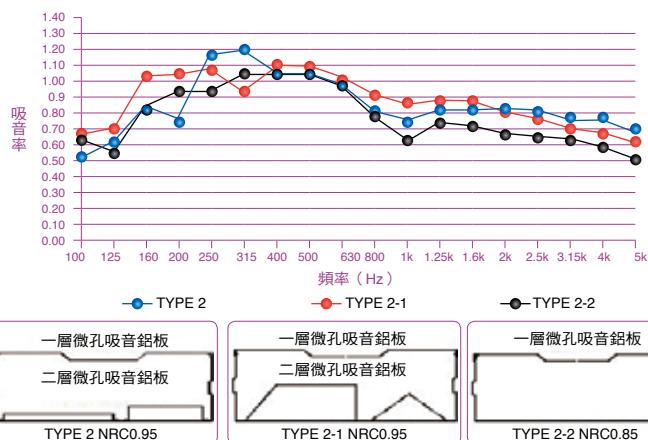
剖面一正 / 背面
200 倍放大

單層吸音板空腔與吸音特性



可調式二層吸音牆吸音特性

系統規格：1.2 E200 吸音牆頻譜吸音特性



CKM SoundMicro

規格 (Hz)	TYPE2 (1/3) Octave	TYPE2-1 (1/3) Octave	TYPE2-2 (1/3) Octave
100	0.51	0.66	0.64
125	0.62	0.70	0.56
160	0.85	1.03	0.85
200	0.75	1.03	0.93
250	1.17	1.06	0.95
315	1.20	0.93	1.04
400	1.06	1.10	1.03
500	1.04	1.09	1.06
630	0.98	1.02	0.97
800	0.82	0.92	0.77
1k	0.75	0.86	0.63
1.25 k	0.82	0.88	0.74
1.6 k	0.83	0.87	0.72
2 k	0.82	0.79	0.67
2.5 k	0.81	0.76	0.66
3.15 k	0.76	0.69	0.63
4 k	0.75	0.68	0.58
5 k	0.68	0.61	0.51
NRC	0.95	0.95	0.85

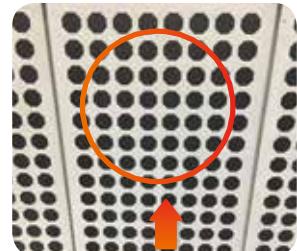
安裝於台北捷運站體內微孔吸音面板與多孔質材料潔淨度比較圖



背襯吸音棉未良好貼附的部位，因車站的氣流迴風效應夾帶粉塵穿透導致板面局部髒汙，影響外觀。



青銅微孔板安裝使用近 6 年的潔淨度。

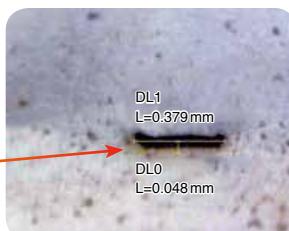


背襯包覆黑色玻纖棉因氣流吹散脫落，裸露內部玻璃棉，易產生玻纖飛散，造成吸入性傷害。

戶外吸隔音牆安裝 5 年後的耐久性與潔淨度檢測



50 倍顯微照像

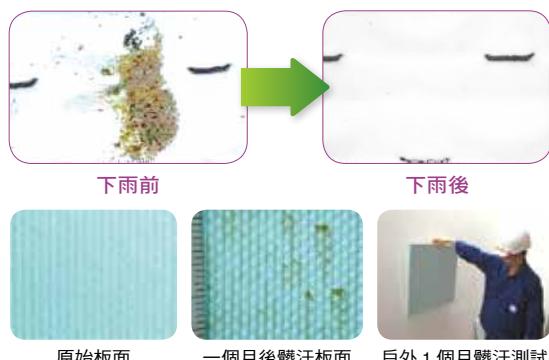
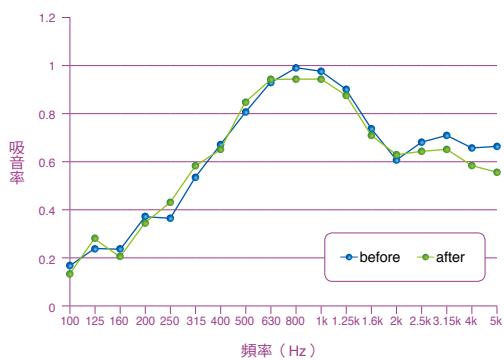


200 倍顯微孔徑照像



350 倍表面顯微照像

水自潔性的測試





以髒汙兩字來形容，尤其在高速氣流下的交通運輸場所，潔淨度的維護更不容易。

異型微孔吸音板由於每平方米達四十四萬孔且孔寬只有 0.04 毫米，在這布滿均勻的微細孔平面上，灰塵不易因回風效應進入板材孔內，因此不容易阻塞，得以長期保持該有的潔淨度與原有的吸音功能。即使做為戶外吸隔音牆，因採用了自潔性的四氟乙烯耐候塗料，能有效利用雨水自潔，可以保持該有的潔淨度。

關於異型微孔吸音板粉塵髒汙與吸音功能影響度，新加坡 PSB 音響實驗室進行了相關的測試。先對這產品進行吸音測試後再置放於工地一個月，在無清理狀況下就進入實驗室進行第二次吸音測試，結果證明其吸音功能不受影響。戶外髒汙性部分，進行雨水自潔性的測試效果也很好。

下文介紹幾則微孔吸音板的應用案例，說明應用前的環境狀況及改善後的狀況：

案例一：大眾運輸站體內天花板—在捷運站或公共建築大廳的安全廣播系統，並非只要求喇叭聲量大就好，同時須注意室內的背景噪音（通常是空調系統的噪音）要儘量降低，因此大廳的天花板、牆壁應該有適當的吸音效果，以控制在合理的殘響時間以下。

以台北捷運某站體為例，全面施以微孔天花板至今四年，仍一切如新（風壓穿透需達一定壓力，回風效應夾帶的粉塵不易穿透。傳統沖孔板加棉在有氣流產生的場所，易變成過濾棉而使板片髒汙）。觀察該站安裝後的餘響時間量測，可發現各倍頻的平均餘響時間都在 1 秒以下，結果令人滿意。再以某廣場測試，自更換天花板為超微孔吸音板後，在人來人往中、各組音樂響起時，依然保持著清靜度，提供學子們一個舞動青春的好場地與舞台。



捷運站某廣場自更換天花板為超微孔吸音板後，在人來人往中、各組音樂響起時，依然保持著清淨度。



泳池的高水氣空間於採用微孔吸音後，室內餘響時間獲得了改善。

案例二：水世界、泳池、SPA 館—在游泳池、SPA 館等高溼、高溫場館，為考慮防水特性，表面大多採用不具吸音效果的水泥粉光、防水漆。在諸多水流衝擊音及人聲下，室內通常很吵，傳統的多孔質吸音材都無法使用，環境噪音大且語言清晰度差，使得教學很困難，安全性也堪慮。

某泳池於採用障板型式的微孔吸音板後，室內餘響時間獲得了改善，室內噪音也



吸隔聲牆系統

減小了。微孔吸音板在表面水壓 5 帕 (Pa) 以下不透水，而溫水游泳池易產生水汽結露，使用的微孔板材料因具透氣性，幾乎沒有滴水現象，是室內游泳池適用的吸音材料。

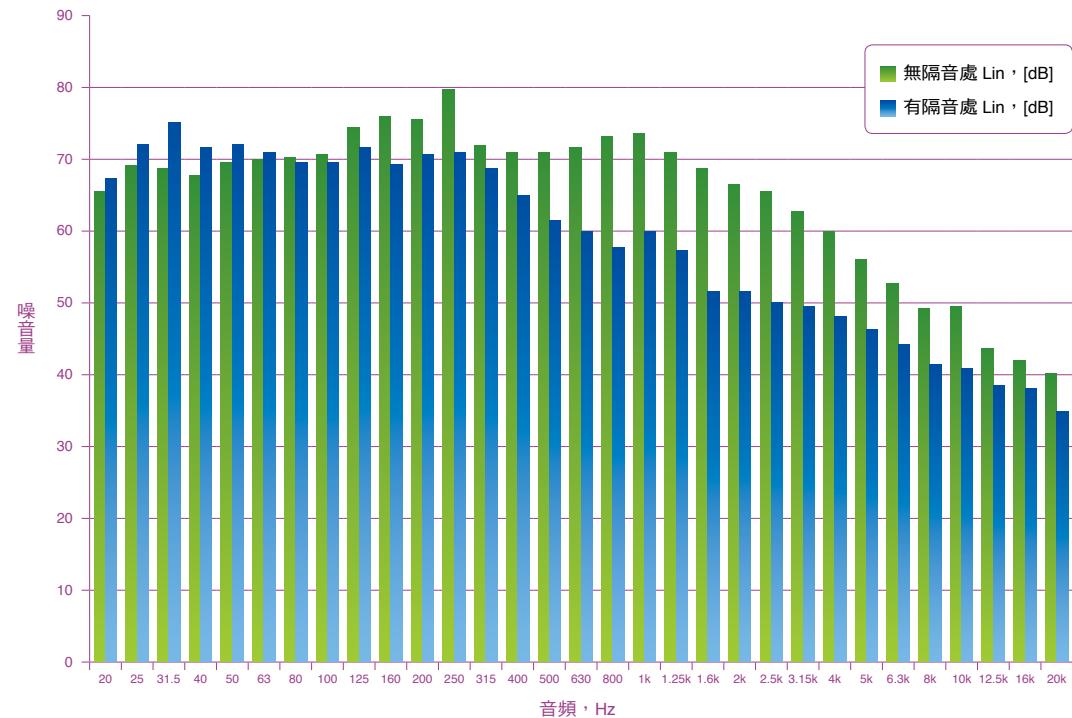
經檢測泳池的餘響時間，由於經費限制，微孔吸音板只能安裝泳池面積的 37%，但對於 500 ~ 2,000 Hz 的語言帶頻率已明顯改善，整體噪音量減少了 11 分貝。

案例三：戶外吸隔聲牆—傳統的吸音式隔聲牆暴露在自然環境中風吹、日曬、雨淋，隔聲牆結構內安裝的吸音棉常因吸水而下沉，影響隔聲效果。此外，每一塊界線都會發黑，再加上高速氣流變化，使得鼓出變形，很不美觀。為了改善這些困擾，高鐵台南站的隔聲牆就安裝了這個產品。讀者有機會乘坐高鐵時，不妨留意一下全線的隔聲牆。另外，為了解決出發站前暖車噪音的問題，也運用了微孔板設計出 1.5 米高的吸隔聲牆，取代原設計的玻纖棉吸隔聲牆。



頂邊吸音筒

隔音牆減噪量測分析



微孔板是個新世紀的吸音材料，全世界都在爭相發展，它改寫了教科書對吸音材料的分類。德國赫爾姆特·富克斯（Helmut Fuchs）出版的一本新書《噪聲控制與聲舒適》（*Schallasoer and Schalldumpfer*）就如此描述：它擺脫了吸音材料長年依附著多孔質材的限制，成為一種不怕水、不怕火、質輕、耐久的新吸音材料，今後還有很多新型式尚待開發。

最後期待國內聲學控制與環境噪音控制的專家能對微孔吸音板多一份認識，對國內環境噪音與建築聲學的控制運用多一

種吸音材料的選擇，讓我們的生活環境得以更安靜一點，以增進國人的身體健康與生活品質！

許榮均、陳智隆
台灣海洋大學系統工程暨造船學系

呂世明
青鋼應用材料股份有限公司

非線性光學— 改變傳統雷射輸出頻率與其應用

| 王寵棟

綠光雷射筆幾乎人人唾手可得，但您了解綠光雷射產生的方式嗎？

事實上，這是非線性光學的現象之一。

非線性光學是現代光學的嶄新領域，由於可以用來產生各種不同波段的同調光源，因此衍生了很多新的應用。

非線性光學的源起

在日常生活中，人們早已熟知並應用一些光學現象，如：反射、折射、干涉、繞射、透鏡成像。這些現象都屬於線性光學的範疇，它們的發展可追溯至西元前 700 年，當時的古埃及人與美索布達米亞人就有使用透鏡的經驗，這些線性光學的研究仍舊持續至今。非線性光學則發展得非常晚，開始於西元 1960 年代。非線性光學現象屬於非線性物理，透過非線性光學原理，光能夠改變物質的折射率，或是在非線性光學晶體上外加一道調製電壓，就能夠把入射的光訊號作振幅或相位調製，甚至藉由適當設計與晶體的選用還能夠改變入射光的波長。



湯匙在水杯中的折射現象（圖片來源：種子發）

透過非線性光學原理，能夠調製入射的光訊號，甚至藉由適當設計還能夠改變入射光的波長。



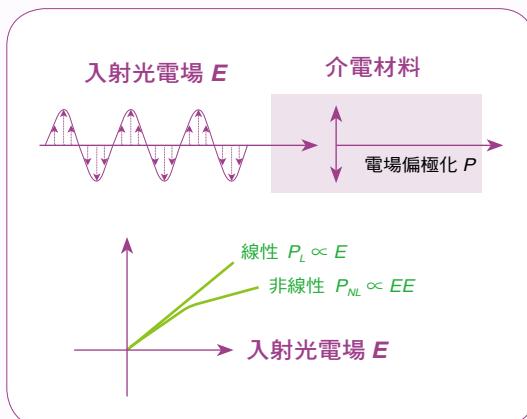
細究非線性光學，其實是一門結合電磁學、基礎光學、晶體光學的學問，探討研究電磁波與介質交互作用的機制，進而延伸這方面的應用。也就是探討光或電磁波如何改變介質特性或控制介質特性，從而影響同一介質中其他的光，甚至影響注入的光或電磁波本身而產生光的非線性現象。

雖然光學發展歷經了數千年，但是非線性光學真正在實驗上的進展卻是在 1960 年第一支雷射—紅寶石雷射的發明之後。為何非線性光學的進展是在發明雷射之後呢？這是因為產生非線性光學現象通常需要很高的光場（光的電場分量），這樣的光場通常又需要具有光束同調性極佳的光源，也就是雷射才能辦得到，同時還需要經過適當的聚焦才能夠提供足夠的非線性現象進行觀察。

西元 1961 年，也就是第一支雷射發明後的第二年，弗蘭肯（Franken）就以紅寶石雷射產生的 694.2 奈米波長的光射入石英晶體，產生二倍頻波長 347.1 奈米的紫外線光，實驗雖然簡單，卻是一個跨時代的結果。其他有關非線性光學中雷射頻率變換的現象，如：和頻、差頻、光參數產生與振盪等，在非線性光學的理論與實驗上也一一地探討與實踐了。

同時，透過非線性晶體的研究與開發，雷射波長可以藉由這些非線性效應產生其他波段，這些波段的光源特性也一樣具有雷射在時間與空間方面同調的特性，彌補了雷射本身只能輸出特定波長的遺憾。這是目前產生不同波段同調光最為簡單的方式，可以說非線性光學開拓了雷射應用的波長限制。

非線性光學現象除了光頻率變換外，尚有自聚焦、自相位調製、拉曼散射、布里淵散射等，本文的討論將著重於光頻率變換與這方面的應用。

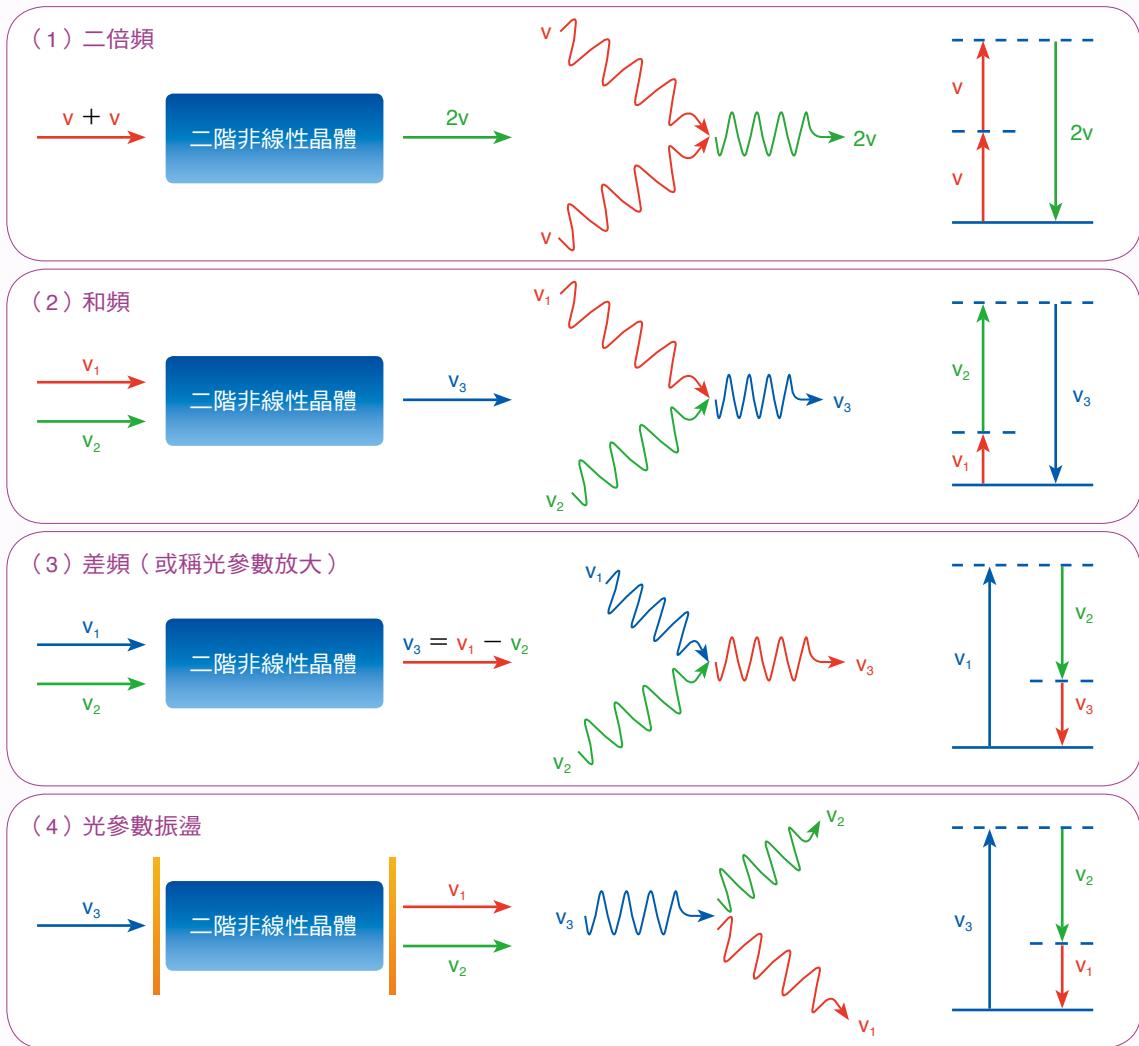


一道光的電場 (E) 注入介電材料後，引發材料內部的電場偏極化 (P_L)，在一般情況下，電場偏極化大小正比於注入光的電場 ($P_L \propto E$)；但當光電場夠強時，介電材料會產生非線性電場偏極化 (P_{NL})，而電場偏極化大小正比於注入光的電場的二次方 ($P_{NL} \propto EE$)。

非線性光學的原理

通常非線性光學晶體絕大部分也是介電材料，而入射於介電材料的電磁波的電場必須足以改變材料的介電特性。在外加電場（一般簡寫為 E ）下，介電材料會產生感應電偶極矩。電偶極矩是由電量相等但電性相反的電荷所組成，而單位體積下的電偶極矩的數量則稱為電偶極矩密度或電場偏極化，一般簡寫為 P 。

感應電偶極矩的產生是用來抵抗外加電場，大部分情況下 P 隨外加電場 E 而線性改變。如果這時電場是具有頻率 ν 的電場或光場，則電偶極矩也會帶有頻率 ν 的振盪。然而，在許多非中心對稱的介電材料中，只要注入光的電場夠強（通常是雷射），就會出現稱為非線性電場偏極化振盪現象，一般簡寫 P_{NL} 。這時候 P_{NL} 正比於外力電場大小的二次方，這樣的數學表示式稱為二階非線性光學效應。



(1) 二倍頻：兩顆相同頻率 v 的光子在晶體中，透過滿足非線性轉換條件加成一顆二倍頻光子 $2v$ ；(2) 和頻：頻率較低，分別是 v_1 與 v_2 的兩顆光子，在晶體中透過滿足非線性轉換條件加成一顆高頻光子 v_3 ；(3) 差頻（或稱光參數放大）：一道高頻且電場能量較高的光子 v_1 在非線性晶體內產生非線性增益，同時注入一道低頻光子 v_2 取得非線性增益而放大，這時會同時產生另一頻率是 v_3 的光子；(4) 光參數振盪：頻率是 v_3 的光子在非線性晶體內產生兩顆低頻光子 v_1 與 v_2 ，但由於非線性增益不足，因此採用共振腔架構方式共振低頻光子達成足夠的增益輸出。

二階非線性光學效應是一種應用相當廣的雷射光頻率變換技術，通常是三種不同頻率的光在非線性光學晶體中作用，又稱為三波混頻。在這樣的關係下有幾種可能的非線性光混頻產生：二倍頻、和頻、差頻。值得注意的是無論是何種機制，

這三波混頻都滿足光頻率的恆等式，這個恆等式又稱能量守恆。

以上介紹了強度高的雷射在二階非線性光學晶體內所產生的非線性電場偏極化振盪，這種振盪能夠產生新的電磁波頻率，而這些新頻率的相位與引發它們的入射雷



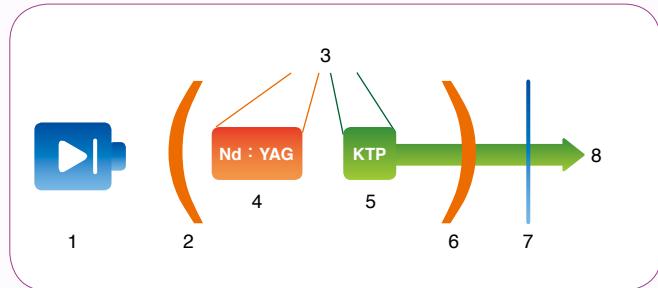
射光的相位有關，唯有這些新頻率的相位跟入射雷射的相位是同調時，才能造成建設性疊加而成為同調光波。這樣的觀念又稱為相位匹配，有時也稱動量守恆。換句話說，二倍頻、和頻、差頻等都須滿足動量守恆才能夠產生這些現象。

滿足相位匹配的方式有很多種，通常是先選擇好入射的雷射光頻率與想要產生的光頻率後，接著選擇使用合適的晶體產生所設計的波長。當三波頻率與晶體決定後，就要計算入射雷射光的電場偏振方向與入射晶體的角度，必要時得控制溫度來達成。但近 20 年來還發展出效率更高的方式稱為準相位匹配，這是一種人造的相位匹配條件，能夠免去很多如雷射入射晶體角度與電場偏振控制的麻煩。話雖如此，要理解相位匹配的概念，還是要對固態物理、晶體光學、光電學等深入了解後才能真正清楚它的內涵。

非線性光學混頻與應用實例

綠光雷射 以綠光雷射為例，由於近代科技在半導體工藝上的進步，已經能夠製作出便宜的半導體雷射激發固態雷射。整個雷射產生的過程是從一輸出光波長是 808 奈米的半導體雷射開始，功率約幾百毫瓦。

把這光束注入 Nd : YVO₄ (摻鈸釔酸鈇) 或 Nd : YAG (摻鈸釔鋁石榴石) 材料，兩者都可有效率地被 808 奈米的雷射激發，產生 1,064 奈米的自發輻射。1,064 奈米的光輻射在共振腔來回振盪後可有效得到增益，也就是從光輻射變成雷射。同時共振腔內也置有二倍頻晶體，通常是磷酸鈦氂鉀 (KTiOPO₄, KTP)。KTP 材料受到 1,064 奈米的光激發後，就會有二倍頻，也就是 532 奈米的綠光輸出。



1：808 奈米半導體雷射；2：共振腔面鏡，針對 808 奈米的光鍍有抗反射鍍膜，同時反射 99.9% 波長是 1,064 奈米的光；3：1,064 奈米和 532 奈米光的抗反射鍍膜；4：Nd:YAG 雷射晶體；5：KTP 非線性晶體；6：共振腔鏡，針對 532 奈米的光鍍有抗反射膜，同時反射 99.9% 波長是 1,064 奈米的光；7：過濾 808 奈米與 1,064 奈米的濾波片；8：綠光雷射輸出。Nd:YAG：摻鈸釔鋁石榴石，KTP：磷酸鈦氂鉀。

接受到半導體雷射光入射的鏡面有光學鍍膜，可高反射 1,064 奈米而高穿透 808 奈米的光，而另一端的輸出耦合鏡也有光學鍍膜，可高反射 1,064 奈米的光而部分穿透 532 奈米的光。共振腔內所有晶體表面都鍍上 1,064 奈米與 532 奈米的抗反射鍍膜，使得波長 1,064 奈米的雷射在 KTP 晶體內來回振盪，就可產生更多的 532 奈米光波輸出。

兆赫波段光源 再舉一個較為前瞻的科學研究，就是兆赫波段光源產生。所謂的兆赫波包含了由部分毫米波段（約 0.1 THz）到遠紅外區（約 10 THz）的一段電磁頻譜，由於要產生同調的兆赫波相當困難，因此在電磁頻譜上一直有所謂的兆赫波間隙。

兆赫波有其他頻段電磁波所沒有的光學特性，例如可以有效穿透衣服、紙、皮革、塑膠、木頭等，卻無法穿透金屬，而且某些波長的兆赫波會被水吸收。由於兆赫波可以與許多大分子的振動、轉動能階



各不同波長對應到不同名字，可見光只是全部電磁波頻譜的一小部分，兆赫波段介於紅外線與微波之間。

作用，因此應用吸收譜線法可以拓展物質的辨識範圍到許多有機分子的範疇，而這是X光無法相比的，因為X光的頻率很高、光子能量大，是一種具危險性的游離輻射。由於炸藥與毒品大多屬於有機物品，因此兆赫波可與X光搭配進行安全檢查，保障國土及人民安全。

在生醫方面，許多研究團隊想應用兆赫波，因為兆赫波不但可以不需外加任何螢光染劑直接辨識分子影像，更具有低雷利散射、低光子能量、高穿透深度等特質，使得利用兆赫波完成生物影像對生物組織的破壞會比可見光與X光小很多。總結來說，在光譜學、非破壞性醫學影像、毒品檢測等方面，兆赫波光源是一個非常強而有力的工具。

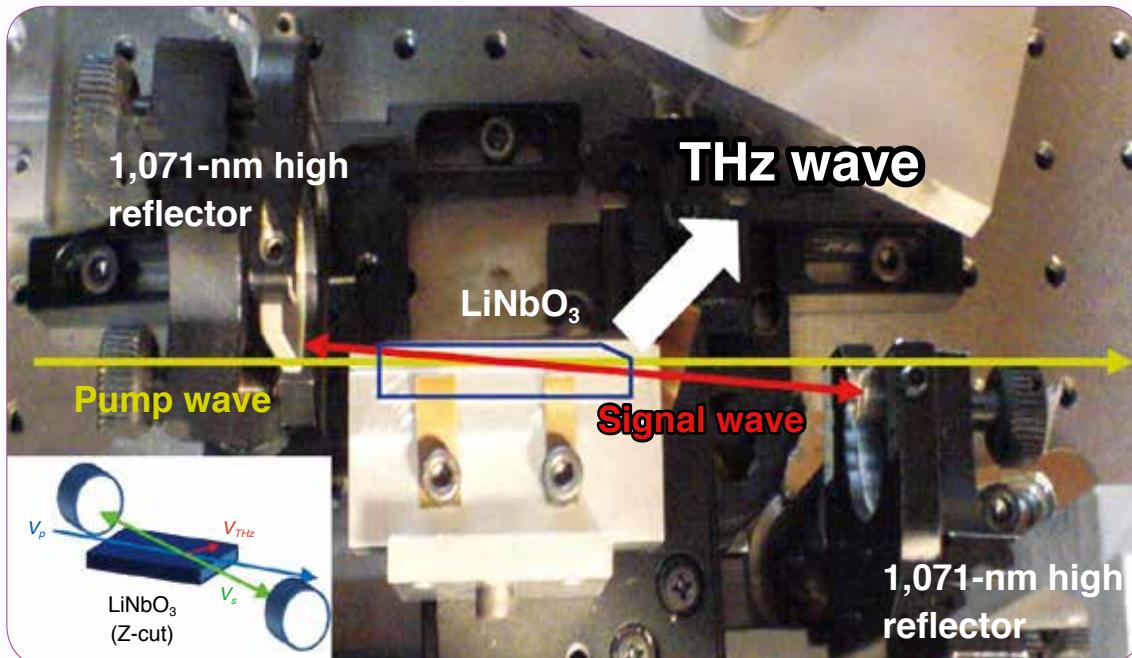
兆赫波如此有用，如何產生兆赫波便是一項重要的研究課題。在過去幾十年，



兆赫波光源能夠穿透塑膠製品與紙類，卻會被金屬反射，因此圖中的皮箱內若藏有刀子，兆赫波將無法穿透。（圖片來源：X.-C. Zhang and J. Xu, Introduction to THz Wave Photonics, Springer, 2010）

許多研究團隊積極地利用超快雷射於電漿或光導天線等材料來產生兆赫波，但是使用的光學技術主要是產生非同調、寬頻的兆赫波。事實上，有很多方式可以產生同

在光譜學、非破壞性醫學影像、毒品檢測等方面，兆赫波光源是一個非常強而有力的工具。



在銻酸鋰 (LiNbO_3) 晶體內利用非線性光學混頻方式產生兆赫波，圖中的激發光 (Pump wave) 是波長 1,064 奈米的雷射，注入銻酸鋰晶體後產生波長是 1,071 奈米的訊號光與兆赫波。為了使效率提高，使用一組高反射鏡 (1,071 奈米的共振腔鏡) 增加轉換效率。Pump wave：激發光，Signal wave：訊號光，THz wave：兆赫波，1,071-nm high reflector：波長 1,071 奈米反射鏡。

調的兆赫波。舉例來說，自由電子雷射就可以產生高能量、波長可調的兆赫波輻射，但是自由電子雷射的體積較大，且需要較高的成本才能建立。另外，使用量子串聯雷射也有機會產生兆赫波，缺點是需要在低溫下操作。

除了自由電子雷射與量子串聯雷射外，也可以用混頻的方法在非線性光學物質中產生兆赫波。譬如，在銻酸鋰晶體裡使用非線性光學混頻來產生兆赫波，是另一種具有潛力的方式。這種方式的優勢在於它的架構簡單、方便，可以產生同調且波長可調的兆赫波輻射。

西元 1975 年，美國史丹佛大學的潘特 (Pantell) 教授利用銻酸鋰晶體中的電磁偏極子散射產生同調性兆赫波。電磁偏極子

是一種光子與聲子交互作用的行為下產生的量子現象，但由於會利用到非同向性相位匹配，使得產生的兆赫波與入射的雷射光有約 65 度的夾角。

但這方向產生的兆赫波會因為全反射而局限在晶體內，難以耦合出晶體，同時兆赫波在晶體內會被急速地吸收掉。因此，科學家們曾利用矽製作成稜鏡或光柵，把兆赫波耦合出晶體，如此一來利用非線性光學混頻的方式產生的兆赫波源就有機會被人們利用。

非線性光學的未來發展

非線性光學的主要應用與技術開發仍多以光頻率轉換較受科學家的青睞，例如使用非線性光學同時產生紅綠藍三原色，

非線性的積體光學是一個熱門的研究題目，追求的是在單一晶片上完成雷射的產生、波長轉換與調變、開關、訊號放大等。

可應用於雷射投影機。但由於近年來利用較為一般的脈衝式雷射，透過非線性轉換產生可見光與近中紅外線波段的技術，已經日趨成熟，因此這類波段的研究方向會朝向改用超快雷射當作激發光。

超快雷射在時間上的脈衝寬度小於皮秒（ pico second ， 10^{-15} 秒），好比是一部高速攝影機，能夠對研究的對象在時間上進行動態解析。而不同的研究對象需要不同波段，非線性光學混頻技術能提供有力的工具進行這些研究。

另外，就是兆赫波段與紫外光波段的產生，這是兩個利用傳統非線性光學能夠變換頻率的極限。通常產生這兩個波段的難度較高，但它們在民生與國防上都有廣泛用途，因此也是非線性光學專家學者研究的方向。

此外，非線性的積體光學也是一個熱門的研究題目，這樣的技術追求的是在單一晶片上完成雷射的產生、波長轉換與調變、開關、訊號放大等，一個全光處理器是邁向下一個世代全光應用的核心。

總而言之，光學這門古老的學問因非線性光學的加入而變得更活潑有趣，還有更多除了非線性光學混頻之外的非線性光學現象也值得探索了解。

王寵棟

國家中山科學研究院



最古老的海上行業— 引水人

| 方信雄

一般人會把「引水人」解讀為從事鑿井抽水，或清水溝、接管引水的工作，更有人聽音辨字誤認為「飲」水人。可見引水人雖是人類最古老的行業之一，卻也是不被社會大眾普遍了解的職業。

記憶中，我的工作—引水人—常給我們家小孩帶來很多困擾。因為每當他們回答別人，談到老爸的工作是引水人時，立即會引發一場讓人不知該如何回應的尷尬。因為一般人會把「引水人」解讀為從事鑿井抽水，或清水溝、接管引水的工作，更有人聽音辨字誤認為「飲」水人。而我家小朋友在多次面對這種窘況下，只要論及老爸的職業時，一律以老爸是船長回之，簡單明瞭。可見引水人雖是人類最古老的行業之一，卻也是不被社會大眾普遍了解的職業。

至於什麼是引水人呢？其實最簡單且正確的描述就是「代客泊船」，因為引水人的工作是安全且有效率地把一艘自國外行駛到我國港口外的商船帶領至港埠管理機關或輪船公司指定的碼頭或船席靠泊，以便進行後續的貨物裝、卸或旅客的登、離船作業。反之，當一艘船舶在我國港口



駛至待領商船船邊引水人準備攀爬上船

引水人的工作是安全且有效率地把一艘自國外行駛到我國港口外的商船帶領至港埠管理機關或輪船公司指定的碼頭或船席靠泊。



引水人登船後與船長討論航程



搭乘引水艇出港引領船舶

完成貨物裝、卸或旅客的登、離船作業後，欲啟航出港時，也需僱請引水人協助，把船舶安全帶領出港後，再把船舶的操控權交還給船長，然後離船。可見引水人有如飯店門口幫客人「代客泊車」的服務人員。

或許有人會質疑為什麼不讓船長直接把船舶駛進港口靠泊碼頭？基本上，船長負有船舶運作的所有責任，最主要的工作是把船舶安全地自啟航港駛往目的港，但全世界各個港口的天候、水文、地形與作業習慣不同，船長無法一一熟記，而這些知識正是操船者賴以避免船舶觸礁、擱淺乃至碰撞的必備技能。

在安全、成本與效率的考量下，船長通常不願冒險親自操船進、出不熟悉的港口，因此在船舶整個航程中風險最高的一段水路，即是從暗礁淺灘密布的港口外海，到地形錯綜複雜的碼頭間的這一段關鍵航程，便委託熟悉當地港灣知識的引水人代為操作。

船長通常不願冒險親自操船進、出不熟悉的港口，因此在船舶整個航程中風險最高的一段水路，便委託熟悉當地港灣知識的引水人代為操作。



儘速攀爬上船以免被海浪打到或被小艇夾到



引水人提供的引航服務可以說包含專業的操船技術與長年累積的環境經驗，畢竟整個港口的季節性天候、海底與地面地形輪廓、水深分布、淺礁所在、碼頭長短與方向，以及港區作業習慣等資訊幾乎都存在於引水人的大腦中。因此船東或船長僱用引水人的目的不外乎是：確保船舶與港口及其設施的安全、提高港埠與船舶的營運效率、符合海事法規與海上保險的要求。

引水行業的演進

眾所周知，中國是一個兼具大陸性與海洋性的國家，地處歐亞大陸東部，太平洋西岸。如此優越的地理位置，使得中國自古以來就擁有豐富的水運資源，尤其是遍布國內大大小小的適航河流、湖泊，以及廣大的環太平洋海域。但早期中國的航運發展，無論是造船技術、航行經驗或技術累積等都處於較低水平的狀況，因此航運活動中並沒有專門的引水人。航行中船舶的駕駛運作與引航作業往往融合為一，也就是引航經驗的累積與駕駛經驗的增長是同步俱進的。

遺憾的是，中國雖位處亞洲大陸中心，而且海岸線全長約一萬一千餘公里，但自古以來都採閉關政策，並沒有向海外發展。直至明朝始有鄭和七下西洋的大規模海上活動出現，可惜當時朝廷並未打鐵趁熱，反而採抑制政策，再加上後繼乏人，航海事業始終不振。

直至明朝前期定都於南京，才有外國朝貢與各藩屬國定期派使向明朝獻禮的船隻直接沿長江駛入南京。為了確保首都的安全，明朝政府特規定：凡是駛往南京的

外國船隻，進入長江後必須停泊于太倉的「六國碼頭」，由中國有關官員檢查後，再選僱富有長江航行經驗的人，一同監督、指引外船駛向南京。這一對外籍船隻施行強制引航的制度，充分反映出明朝政府對航運活動衍生的國家安全觀念。

及至遜清時代，清廷屢戰屢敗，終於在列強壓迫下放棄了前朝的引航管制作為，允許外人享有中國的內海航行權，並把引水權一併拱手讓人。在抗戰前，單是長江流域就有所謂「揚子江領港公會」及「揚子江水先協會」的存在，前者是西人組織，後者是日人組織，其他如上海、天津、青島、汕頭、廈門等各港的引水人，也全都是由外人充任。

由於外籍引水人紛採科學方法潛心記錄水文資料，因此國家水上門戶洞開，毫無國防機密可言。及至抗戰發生時，日本海軍得以輕易避開淺灘暗礁溯江而上，直扣岳陽、宜昌等，引水權的喪失實是日寇入侵得以輕易得逞的主要原因之一。

抗戰結束後，交通部於民國 36 年 12 月才完全收回引水權。至於台灣各港引水業務的接收，其實早在國民政府轉進來台之前就已著手。民國 34 年基隆港是美軍掃雷艦基地，船艦出入雖多由美籍艦長自行引領，但初次抵基或較謹慎的艦長仍需僱用引水人。

當時中國雖屬戰勝國，然而因人才缺乏，引水人仍需依賴日本人，這種現象引發進、出港口美軍的厭惡與譏笑。因此交通部於民國 34 年 11 月 21 日下令日本人的引水組織（台灣水先協會）結束在台業務，並通知日籍引水人即日起停止工作，改由自大陸來台接收港務局的官員兼任引



台灣四面環海，海上作業頻繁，引水人格外重要。（圖片來源：種子發）

水工作，並知照駐防基隆的海軍第三巡防處協助。

由於盟邦艦艇主管都有被戰敗國引水人引領過的不愉快經驗，因此民國35年冬，中美互惠通商條約簽訂時，美方要求加入「凡國際港口，必須有合格引水人」的明文規定。這就是當前台灣引水人組織成立的緣起。台灣光復初期，因引水人才短缺，所以多由大陸轉進來台的商船船長充任，以及由海軍派員協助，並延續大陸時期採行的師徒制，因而外界對引水制度的運作與引水人的任用無從得知，質疑壟斷之聲不斷。及至民國54年3月考選部公布了引水人考試規則，並舉辦引水人國家考試，至此引水人的考用始進入正軌。

引水人職業屬性

引水人肩負影響港埠運作成敗的重責大任，當然要具備較高標準的專業水平、強健體魄與品德操守。因此各國引水人的資格認定標準或有不同，但其基本要求與工作特質都雷同，以下就是引水人的職業屬性：

需具備長年的海上航行經驗—由於引水人的專業技能要求較高，多數沿海國政府都規定引水人需具備商船船長資格。如我國專技特考的應考人就需具備遠洋商船船長3年以上資歷始能報考。

高度環境調適性—引水人需要在登船後的極短時間內接手運轉一艘完全不知性能與操縱特性的巨型輪船，並整合指揮船



引水人在船期間的引航作為，可相當程度地展現一國海運發展的整體表現與國家素質水平，因而被尊稱為把守海上國門的第一人。

上不同國籍與口操不同英文腔調的船員作業，絕對是一件挑戰性極高的任務。

風險高、壓力大—海上船舶操縱非陸上開車所能比擬，因為船舶設計本就著眼於破浪前進，而非逆行後退，所以後退馬力通常不及前進馬力甚多，加諸水上行舟易於產生慣性，而且慣性常隨著時間與速度加倍累積不易察覺，操船者常面臨「煞不住」的慘痛經驗，要在短短數十分鐘內把一艘完全陌生的龐然巨輪靠上碼頭實非易事。

再者，船舶連同貨載的價值動輒以數十億計，只要稍有疏失常會造成嚴重的後果，使得引水人長期處於精神緊繃的狀態，進而產生心、生理狀態的迅速衰退，這從多數引水人執業數年就白髮蒼蒼可看出端倪。

勞逸不均，食宿不定—船舶到港與離港的模式分配既不是幾近穩定的常態分配，更不是把時間分割成小區間的波氏分配。這是因為海上與港埠作業有太多的不確定因素，所以引水人甚難掌握船舶的確切到、離港時間，也因此往往需長時間苦苦等候以便提供即時服務。

作息不定，無時間性—由於引水人的工作特殊與機動性，即使休假或在家待命也常需保持隨時上場的心境，因而常影響到家庭生活的作息，而這也是從事引水一行所需付出的代價之一。

高耗能性—無論是靜態的輪班等候、動態的攀爬繩梯與樓梯，或是暴露在強風暴雨中操縱船舶離、靠碼頭，都屬高度消耗體能與精力的磨練，因此若不具備與保持最佳的身體狀況，恐無法順利完成任務。

尤其在天候與海況惡劣時，引水人仍須毫無選擇地在狂滔巨浪、夜黑風高、船舶激烈搖晃的情況下，奮力攀爬繩梯上船引領，而這種攀爬過程幾乎是引水人每日都要面臨的最大生命威脅。這從全球引水同僚偶傳出手斷肢殘，乃至落海喪命的噩耗，就可印證引水人確實是職業風險超高的行業。

從上述引水人的職業屬性與條件，可得知引水人的養成不易與難為之處，這與一般人的想像有很大的落差，而這正是外界對引水業務乃至引水人誤解的主因。

另一方面，在法律上被視為「流動國土」的船舶，當她駛抵任何國家的港口時，看到第一位行使沿海國家主權，又能提供優質技術服務的就是引水人。相同地，當船舶完成裝、卸貨或上、下旅客服務欲離港時，送走這塊「流動國土」，最後離船的也是引水人。引水人在船期間的引航作為，可相當程度地展現一國海運發展的整體表現與國家素質。因此引水人除了提供專業的引航服務外，更肩負著把世界引進台灣及把台灣引向世界的重大使命，因而被尊稱為把守海上國門的第一人。

引水職場甘苦談

談到引水人，外界與媒體常以引水人豐厚的收入報導這一行業，卻忽略了引水人養成不易與執業過程的艱辛。基本上，國人長期以來都有「行船跑馬三分險」的觀念，使得投入航海，乃至引水這一行業少有自小就立定志向者，反而大都是因大學聯考分發無意促成的。



在駕駛台專注引領

再者，因為引水人需具備遠洋商船船長資格，因此青年學子自踏出海事院校校門到任職船長，最少要歷時 15 年，單是這一離鄉背井，漂泊海上的漫長孤單歲月，就讓多少人望之卻步。然而這個艱辛的歷程卻是成為引水人必備的毅力與韌性，以及熟練專業技術不可欠缺的鍛鍊。而要求引水人需具備商船船長資格，除了因為引水服務對象具跨國特質外，就是因為任職商船船長後始能經歷船上各種實務運作，在執行引航業務時才能與各國船長、船員用共同的見解與專業語言溝通，以利引航業務的順利進行。

引水人執業每天引領不同國籍的船舶，工作常是在驚險中混雜樂趣。例如某日引



引領過程

領某豪華郵輪，除了航儀先進操作容易外，在船上更可享受五星級飯店的殷勤款待，沒想到下一艘引領的船舶竟是鏽蝕不堪，異味瀰漫的破舊小船，衛生條件惡劣到連

引航作業關係國家整體經貿利益，身為引水人夜以繼日地在工作崗位上，常有分享國家進步的喜悅，而這就是支撐引水人執行業務的最大動力與鼓勵。



通過危險水域，船長臉色凝重。



水都不敢喝。面對這等職場情境的轉換，每每有從天堂掉到地獄的感受。

其次，引水人每日面對不同國籍的船員，因而一日當中應對多國船員早就習以為常，對於異國文化也大都悠然接受。異國文化的交流本需溝通磨合，然若問及引航職場上有無種族歧視存在，答案當然是肯定的。例如歐洲籍船長就優越感十足，常在言談之間有意無意地數落我們的港口設施與運作，引領過程中只要稍有突發或

非預期狀況發生，每每立即翻臉究責，這與華人見面三分情的文化大不相同。

但無論如何，只要堅守一本初衷的積極敬業態度，終會贏得外籍人士的尊重。例如基隆港冬天盛行的強勁東北季風，常被中外船長喻為最危險水域，並把基隆港引水人尊稱為「惡水上的引水人」（pilots over the trouble water），而引水人不畏辛苦與風險在黑夜中攀登上船，順利且及時地把船舶引領進港，就是專業技術人員應有的態度。

記憶中，某同仁在攀登郵輪時不慎落海，他除了立即游回引水艇，把衣服脫下擰乾後，再度攀上引水梯，這時立於船舷二、三千名外籍旅客報以尖叫喝采致意。毫無疑問的，這位同仁想的是郵輪與旅客的安危以及國家的形象，而不是博取英雄式的歡呼，相信這就是引水人存在的價值。

引航作業關係國家整體經貿利益，身為引水人夜以繼日地在工作崗位上，每天看著載運國人辛苦成果的龐然巨輪在自己引航下出港，或協助國內外生產物資順利進出口，雖沒能贏得掌聲，卻常有分享國家進步的喜悅。這絕非單純的勞務報酬所能比擬的，而這就是支撐引水人執行業務的最大動力與鼓勵。

方信雄

基隆港引水人辦事處
中華民國引水協會

唐獎得主— 引領 21 世紀永續發展

| 宋承恩

「沒有任何一個物理定律或自然法則會阻止人類追求長期的繁榮與永續發展，因此我們的成敗完全取決於自身的選擇，以及所採取的行動。」

—羅森費爾德

自 2013 年創立以來，雖僅歷經兩屆，唐獎已在當今世上快速建立起它的地位。雖立足台灣卻放眼世界，唐獎期許成為走在時代尖端，胸懷多元文明的全球性獎項。儘管其成立受到已創立百餘年的諾貝爾獎所啟發，唐獎的精神卻是現代的：在面對 21 世紀的新挑戰層面，它設立了 4 項獎項，獎勵做出突破性貢獻的成就，同時策勵未來的世代在快速變遷的環境中，能持續反省時代的需要，賡續文明的發展。

唐獎獎項的設立充分反映了它的前瞻與科際整合特性。如漢學獎旨在表彰漢學領域的成就，以彰顯中華文化對人類文明的貢獻，其範圍及於思想、歷史、文字、語言、考古、哲學、宗教、經學、文學，乃至藝術方面。生技醫藥獎表彰具有原創性的生物醫學及藥物開發的研究，但須同時對於重要疾病的預防、診斷及治療有明確影響，以解決人類的疾病困擾，增進人類健康。法治獎表彰對法治理念或實踐有創新，進而對法治的實現做出貢獻者；其所謂法治，是指促進和平、人權、永續發展



唐獎漢學獎旨在表彰漢學領域的成就，以彰顯中華文化對人類文明的貢獻。（圖片來源：種子發）

唐獎獎項是獎勵做出突破性貢獻的成就，同時策勵未來的世代在快速變遷的環境中，能持續反省時代的需要，賡續文明的發展。

| 唐獎獎項的立意不僅在肯定學術成就，更要求研究的創新能增進人類的福祉。

的實質意義的法治。而永續發展獎，則在表彰對人類永續發展所做的特殊而重大的貢獻，尤指經由科學與技術的創新與發展，進而影響政策者。

由這些基本要件可見，這些獎項的立意不僅在肯定學術成就，更要求研究的創新能增進人類的福祉。唐獎所追求的目標無不是當前社會所迫切需要的：漢學獎提醒我們文化的根源、生技醫藥獎站在科學的最前端、法治獎追求尊重民主人權的現代精神、永續發展獎涵括了當前人與自然環境和諧共存的總體指標。由其對領域的寬廣界定，也可見唐獎具有科際整合的特性：現代專業雖已高度分工，但每個人仍應時時提醒自己，在共通的價值與精神上，我們都還是普世人類社群的一分子。

若要進一步闡述這些理念，不妨了解一下 2016 年第二屆唐獎各個得主的貢獻。

提倡能源效率的先驅

1973 年，當西方國家因阿拉伯產油國的石油禁運，面臨能源危機時，許多人都在問：「哪裡可以找到便宜的能源？」但加州大學柏克萊分校的羅森費爾德，一位傑出的粒子物理學家，則與眾不同，他問：「怎樣可以增進能源利用的效率？」

1974 年，47 歲的羅森費爾德教授決定從物理領域轉換跑道，致力解決能源問題。羅森費爾德的專業背景其實與能源議題無關，他在芝加哥大學攻讀物理，是諾貝爾獎得主費米（Enrico Fermi）的關門弟子，其後在加州大學柏克萊分校擔任物理學教授，他所屬的粒子物理實驗室曾產出諾貝

爾獎得主 Luis Alvarez，前景十分看好，但他卻義無反顧地投入能源效率的領域。這個決定促成了美國，乃至全世界一系列能源科技及政策的創新與突破。

他由提升人類建築環境能源效率的科技入手。他在美國勞倫斯柏克萊國家實驗室創立了「建築科學中心」，並啟動一系列重要的科技研發，如高頻電子安定器。這項科技使緊湊型節能螢光燈得以順利地發展和普及。相較於傳統照明，前者不但只耗費 $1/4$ 的能源，耐久性也超過後者 10 倍以上。另一項科技則是「智慧窗戶」，它使光能夠穿越窗戶照亮室內，同時把熱擋在窗外，讓建築物能消耗更少的能源卻達到冬暖夏涼的效果。

除了能源科技創新外，羅森費爾德教授也致力於推動新型能源政策。70 年代的美國加州因電力需求不斷上漲而面臨電力短缺的危機，當時許多勢力都鼓吹政府應建造更多發電廠。但羅森費爾德教授有截然不同的想法，他認為社會大眾要思考如何提高電力使用的效率，而非僅想到加蓋發電廠了事。他成功地說服了加州州長及諸位決策者通過能源效率標準，加強諸如冰箱、冷氣機等家電的能源效率。這些新標準的成果有目共睹，在往後的 25 年中，冰箱的耗電率下降到之前的 $1/4$ 。

羅森費爾德教授也領導發展建築物能源分析與設計的軟體，由 1978 年起建立 DOE-1、DOE-2 序列，後者更發展成 Energy Plus，長期廣泛應用於世界各國，對建築節能貢獻非凡。90 年代，他受邀成為美國能源部能源效率與永續能源助理部長的資深顧問，而後又被任命為加州能源委員會會長，



羅森費爾德教授致力於推動新型能源政策，以提高電力使用的效率。（圖片來源：種子發）

在任期內進一步加強能源效率標準，管理俗稱「能源吸血鬼」—即處於待命狀態也會消耗能源的電器用品的能源消耗。

這一系列科技及政策影響重大：美國國家科學院 2001 年的研究發現，羅森費爾德教授的能源創新與政策為人們省下 300 億美金的花費。這項研究並估計，到 2030 年，這些能源標準將會省下 8 兆美元，並消除了 70 億噸的二氧化碳排放，等於 15 億輛汽車每年的碳排放。從 1973 到 2008 年，美國人均電力用量增加了 40%，但同一時間加州的人均電力用量卻沒有增加。能源效率學界稱這是「羅森費爾德效應」。

2013 年，美國歐巴馬總統親自頒發了「國家科技創新獎章」給羅森費爾德，表揚他對建築能源效率的科技及政策所做出的

貢獻。他體現了如何以跨領域分析和行動，解決本世紀人類社會在永續發展中面臨的複雜挑戰。走筆至此，得知他已於 2017 年 1 月間以高齡 90 逝世。本文謹以他的話：「沒有任何一個物理定律或自然法則會阻止人類追求長期的繁榮與永續發展，因此我們的成敗完全取決於自身的選擇，以及所採取的行動。」緬懷這位具遠見的行動者。

突破基因編輯瓶頸

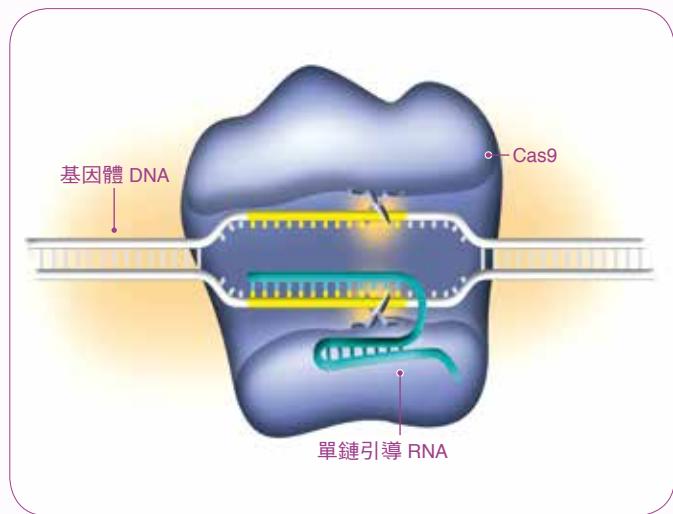
儘管細菌非常微小，法籍科學家伊曼紐夏彭提耶（Emmanuelle Charpentier）卻深信可以從它們身上學到非常多的東西。她研究它們適應環境的方法，研究它們致病的機制，沒想到有一天，她的研究卻產出了生技醫藥史上的一個重大發現。

關鍵其實來自細菌對抗外來敵人的一種防禦機制：逃過一劫的細菌會剪一段敵人的 DNA 儲存在自己的「CRISPR」序列中，而以它為模板做出對應的 RNA（crRNA），以永遠記得敵人的面孔。假如敵人膽敢再度出現，crRNA 便會協同另一個 RNA（tracrRNA），一起引導 Cas9 內切酶剪斷敵人的 DNA。精確度務必相當高，否則會誤切到細菌自身的 DNA。

看來只要變更 crRNA 這個導航器的序列，就可以控制 Cas9 這枚導彈攻擊的 DNA！假如你的視線短淺，只能看到細菌一微米的盡頭，那麼這個發現就沒有太大的重要性。然而夏彭提耶的眼光卻囊括了生物的三大界，她要讓 CRISPR / Cas9 這個系統可以應用到所有生物，去切任何想要切的 DNA。

她尋求美國柏克萊結構生物學家道納（Jennifer Doudna）的合作，進一步破解 CRISPR / Cas9 系統的結構與互動模式。過程中，道納與團隊靈機一動，把 crRNA 與 tracrRNA 以最精簡的方式結合成單一條「單鏈引導 RNA」，正式使 CRISPR / Cas9 升格成任何實驗室都能輕易操作的「技術」。

過去的 DNA 編輯方法是用一個個蛋白質模組組合成大分子，去辨識 DNA 上的序列，其效率好比用厚厚的紙本地圖找目的地，換國家時還得換一本地圖。而 CRISPR / Cas9 技術的出現，就好比 GPS 問世，用客製的 RNA 搜尋目標 DNA，幾乎跟輸入地址一樣簡單便宜又精確。過去每個基因改造植物或基因轉殖動物的背後，都必須付出大量的心力，卻事倍功半，讓人卻步。如今只要有實驗室的人都可以隨時隨地試驗，因為成本降低、時間縮短，事半功卻千萬倍。



CRISPR / Cas9 基因編輯技術幾乎在所有生物體內都可以使用。（圖片來源：唐獎基金會）

同一時間，麻省理工學院的張鋒（Feng Zhang）也在進行自己的 CRISPR 研究。緊接在兩位女科學家之後，張鋒進一步讓 CRISPR / Cas9 系統成功地在人類與哺乳類細胞中做基因編輯，甚至可以同時做好幾個不同的編輯。這項突破讓新藥的開發得以一日千里。

CRISPR / Cas9 幾乎在所有生物體內都可以使用，因而人們對它有許多的想像，突然間類似「人類基因可以任意編輯了」、「寶寶可以客製」、「長毛象要復活了」等聳動的標語占盡版面，也促使道納挺身而出，呼籲科學家們放慢腳步，好好思索一下我們期望一個什麼樣的未來。

這並不影響 CRISPR 技術的正面貢獻：利用它，科學家能做出帶有特定疾病的動物供研究使用，藥廠開發藥物的速度將大幅縮短。在農作物與生物能源方面，它已有很好

的應用。由於具有高準確度，未來最令人引頸期盼的應用，是直接用在人體中治療缺陷的基因，許多遺傳疾病將有可能永遠從地表消失。2016 唐獎生技醫藥獎頒給這 3 位科學家，以表揚他們對基因編輯瓶頸的突破，也鼓勵年輕世代繼續他們的研究，解決更多的科技難題以造福人群。

西方的孔子

半個多世紀以來，狄培理（William Theodore de Bary）教授一直是漢學界公認的大師。在近 70 年的學術生涯中，狄培理透過大量編譯東方經典著作，建立了大學核心課程，讓西方人認識孔孟、老莊，甚至印度、日本、韓國等東方哲學與宗教思想。他是把中國儒學引介給英語世界的先驅，也是把東方文明的圖像完整呈現於西方社會的第一人。

第一屆唐獎漢學獎得主余英時教授認為，狄培理比哈佛大學的「中國通」費正清教授更具影響力，因為他改變了美國及西方社會研究中國思想的方式，掀起全球漢學研究熱潮，開創儒家思想研究的新天地。

狄培理的漢學之路始於 1937 年的一堂課，這堂課開啟了他對東方文明的興趣。在課堂上，卡門（Harry Carman）教授說：「各位一定知道，這門課雖然叫做『當代文明』，但其實只涵蓋了西方文明，我期待在座有人可以把亞洲文明的部分也補上。」聽到卡門教授這麼說，狄培理就埋下了心願，決定當那個「把亞洲文明也補上」的人，於是從大二開始就努力學習中文與中國歷史。

1949 年狄培理回到哥大教書，當年啟發他的卡門教授已成為哥大大學部的院長。

卡門希望狄培理能開授東方文明與人文課程，讓東方文明也成為「核心課程」的一部分。狄培理接下這項任務，他必須把亞洲國家的主要史籍、經典翻譯成英文做為教科書，因當時西方沒有現存的譯本，狄培理尋找相關領域最好的學者，請他們翻譯、提供評論，並且帶領研究團隊編輯後才完成這套東方經典編譯選輯。

這個東方經典編譯計畫至今共出版超過一百五十多本書，涵蓋了中國、印度、日本、韓國，甚至包括了中東文明。其中的《中國傳統文獻》（*Sources of Chinese Tradition*）是全世界研究中國的學者必讀的參考書。

狄培理一生跨越兩個世紀，被譽為「西方的孔子」。即使年紹九十餘仍每周在哥倫比亞大學為一群可以當他曾孫的大學生上課，帶領好幾位助教跟學生討論著孔子、朱熹、王陽明的著作。教授已於 2017 年 7 月息勞於世，令人懷念不已。

狄培理跟許多先人與後繼一樣，他努力在東西方之間搭起一座座的橋梁，而且讓全球各個文明自行發聲。就如他的學生鄭義靜形容的，他像一棵大樹，一座大山，努力鋪建起這座跨文明的橋梁，而最後他自己也成了那座橋。

直視黑暗深淵的法律人

路易絲·阿爾布爾出生於加拿大法語區，卻立志打入英語圈。蒙特婁大學法學院畢業後，旋即進入加拿大最高法院擔任大法官助理，之後在法學院講授刑法，同時擔任加拿大公民自由協會的副會長提倡女權。39 歲時又成為法語圈中第一位被任命為安大略省上訴法院的法官，對人權有更完整的接觸。

她一向秉持的信念是，刑法絕不只是為了追訴犯罪，同時在透過保障人權節制國家權力，「讓民主社會知道自己的界限在哪裡」。即使是少數，社會邊緣人的權利也必須保障。由刑法至人權，阿爾布爾把對人的關懷帶進法律世界，勇於突破既定印象的窠臼並挑戰權威。

1993年聯合國安理會動用憲章第7章的強制性權力，成立了國際刑事法庭，誓言追究發生在前南斯拉夫與盧安達戰爭罪的戰犯責任。這是在二次大戰紐倫堡與東京大審半世紀以後，國際追訴戰犯的司法行動。

但國際現實是，一方的戰犯可能是他方的守護英雄。當停火和談進行之際，各方莫不期待這些軍事政治領袖能坐上談判桌以達成「和平」。這時，追究戰爭罪行成為不合時宜的「白目」行動，即使眾多跡象顯示，發生在波士尼亞或科索沃的罪行是由塞爾維亞最高層—總統米洛塞維奇所策劃或授意，問題是，沒有正義的和平仍然值得追求嗎？

在這樣的背景下，有刑法專業，精通英語與法語的加拿大法官阿爾布爾，獲得安理會5個常任理事國的支持，出任國際刑事法庭第二任首席檢察官。各方原本期待這位「無害的魁北克女子」會看風向辦事，不會壞了列強劃分勢力範圍的大戰略。沒想到這位首席檢察官以她鋼鐵般的意志、巧妙的手腕與勤勉的奔走說服，在刑事法庭實現正義。

在她運籌之下，國際刑事法庭不再仰賴列強，轉而以聯合國安理會的授權為基調，

要求各國政府和軍事部門與法庭合作。並利用北約部隊間的同儕競爭心態，說服其與法庭合作，出動特勤部隊拘捕戰犯到庭。

在策略上，阿爾布爾巧妙運用祕密起訴，使嫌犯無法得知自己是否已被法庭盯上，增加其心理壓力。同時，也為嫌犯的逮捕增加突襲的因素，並降低其武裝抵抗的風險，增進執法人員的安全保障。隨著嫌犯逐漸拘提到案，國際刑事法庭的運作開始活絡，帶來一連串的骨牌效應，包括促使被起訴者自動投案、當地政府的交付人犯等。

但指引阿爾布爾的並非素樸的正義感，而是對法治的堅持。她堅持證據辦案，親赴前線蒐集證據。在國際刑法圈內，阿爾布爾以其起訴案件證據堅實而贏得稱譽。即使對眾人所指的米洛賽維奇的起訴，仍然是證據到哪裡，辦到哪裡。因此，在最初階段，僅以違反人道罪而不是種族屠殺罪起訴米洛賽維奇，因為當時的證據尚不及此。

儘管如此，當時起訴塞國現任元首的舉動，引起西方世界震動，許多人指責她完全沒有政治概念，不受節制，將引發巴爾幹半島局勢動盪等。沒有人料到的是，一年多以後，塞國變天，米洛賽維奇下台，不久後被移交給國際刑事法庭審判。阿爾布爾不畏強權，堅持法治，向世人證明了沒有人可以凌駕法治之上的。

雖然在不同的領域貢獻人群，然而每位唐獎的得獎人示範的是如何以精準的眼光觀察到時代的需要，並以卓越的專業能力，辛勤付出，突破阻礙，堅持不懈，而獲致的成功。藉

唐獎得獎人所示範的，是如何以精準的眼光觀察到時代的需要，並以卓越的專業能力，辛勤付出，突破阻礙，堅持不懈，而獲致的成功。

**藉由唐獎的平台，
不論就展現當代台灣所認同追求的價值，增進國內各界對世界最尖端發展的理解，
乃至提倡人類文明的進步，都發揮了正向的功能。**

由唐獎的平台，肯定這些成就並邀請得主來台親身證言，與學子交流，不論就展現當代台灣所認同追求的價值，增進國內各界對世界最尖端發展的理解，鼓勵後進惕勵向學，乃至提倡人類文明的進步，都發揮了正向的功能。

唐獎兩屆以來展現了可觀的多元面向：第一屆得獎者帶來永續發展概念的發軔、敦厚的史哲學風範、癌症治療的契機、轉型法治與正義；第二屆得獎人則展現節能與能源永續利用、基因工程的突破、

一生著書誨人不倦的精神、與把法治帶入黑暗深淵的努力。期待這一立基於台灣的創舉能繼續帶給我們驚奇，拓展我們的眼界。

宋承恩

唐獎教育基金會

深度閱讀資料

紐約時報紀念羅森費爾德的文章，https://www.nytimes.com/2017/01/27/science/arthur-rosenfeld-dead-energy-efficiency.html?_r=0。

介紹 CRISPR 深入淺出的影片，<https://www.youtube.com/watch?v=jAhjPd4uNFY>。

How CRISPR lets us edit our DNA | Jennifer Doudna，<https://www.youtube.com/watch?v=TdBAHexVYzc>。

直視黑暗深淵的法律人－唐獎法治獎得主路易絲·阿爾布爾，http://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=3366。





基因修得好 同源重組不可少

郭朝禎

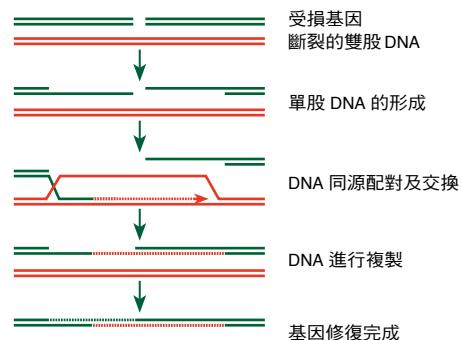
遺傳物質 DNA 記錄著成千上萬個基因的訊息，不僅是生物生長發育的指導手冊，更是代謝運作不可或缺的操作規範。可以想見，這本指導手冊若破損或缺頁，甚至累積過多塗改造成的錯誤而沒有立即更正或修復時，生命的運行將無法受到正確的調控，各式各樣的疾病與癌症也極易在身體內肆虐。

細胞核內，雙股螺旋 DNA 以本身所帶的負電荷與帶正電荷的組蛋白結合，並纏繞組蛋白堆疊成染色體，以這種樣式存在於細胞核中的 DNA 不但能穩定自身的結構，也較不易受到外界有害物質的攻擊。然而，當暴露在紫外線或 X 光等高能輻射的環境中，或從食品中攝取過多的過氧化物及細胞代謝時，產生的自由基會造成 DNA 的損傷。即使無上述危險因子存在，細胞分裂的過程也會造成 DNA 的損傷及斷裂，且每分裂一次就會在 23 對染色體的 DNA 上隨機性地產生至少 50 個斷裂點。那麼處在如此險惡環境中的 DNA 是否還能有效率且正確無誤地修復這些損傷呢？

臺灣大學生化科學研究所冀宏源教授指出，細胞中不同型式的 DNA 損傷必須由專屬的酵素系統進行損傷鑑定與執行修補



修復受損基因的分子機制



的工作，以確保基因的完整性。雙股 DNA 的結構若只有一股斷裂，細胞會採用鹼基移除方式修補，但若二股都斷裂時，就得仰賴同源重組系統承擔維修的責任了。

為探討同源重組系統修補 DNA 的機制，冀教授以生物化學的策略首次發現，在哺乳類動物細胞中，蛋白質複合體 SWI5-SFR1 是同源重組系統啟動維修工作時不可或缺的因子。這個複合體扮演著主要把關的角色，幫助重組蛋白質 RAD51 在受損傷的一股形成纖維狀聚合物，以利找到正確的模板並進行 DNA 的複製修補。

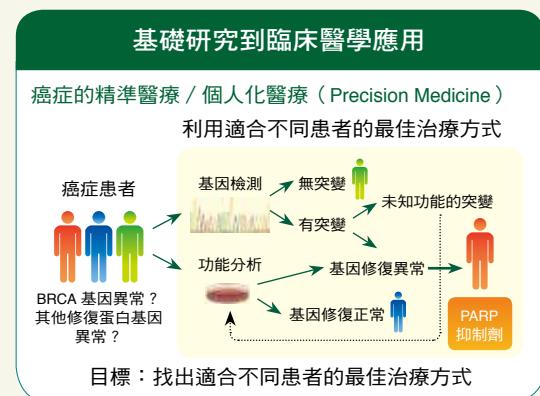


當 DNA 累積過多塗改造成的錯誤而沒有立即更正或修復，就容易形成疾病與癌症。（圖片來源：種子發）

若以分子生物學的技術把這個複合體的基因從細胞中剔除，整個修補系統會如電力中斷般呈現停擺。冀教授指出，同源重組修復系統是由多個蛋白體及多個酵素依序合作的多步驟作業系統，任何一個步驟受到阻礙或酵素活性下降，都會導致基因體的異常或不穩定，罹患癌症的機率也會大幅提高。

他以美國影星安潔莉娜裘莉為例，她因檢測出帶有家族遺傳性 BRCA1 基因的突變，隨即接受預防性的乳房切除手術以預防乳癌的發生。這個處置主要的依據就在於：BRCA1 基因所產生的 BRCA1 蛋白質也是同源重組系統中參與修復受損基因的重要蛋白之一。

因此深入探討細胞修復受損基因的分子機制，不僅可讓檢驗醫學從表型診斷轉向基因型診斷，更具有癌症預防及治療的可行性。而在冀教授研究成果的應用性上，基於 SWI5-SFR1 以及早期國外研究團隊發



現的 BRCA1 / BRCA2 所扮演的修復角色，一旦發現在癌細胞中基因修復功能有缺失時，將可利用這樣的特性做為精準用藥的判斷以強化治療效果，並降低副作用以減輕對其他組織或器官的傷害，達到個體病症診斷及個人化醫療的目的。

郭朝禎
本刊特約文字編輯

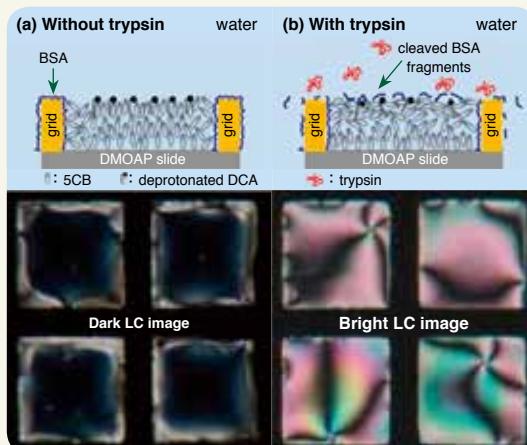
液晶的應用— 生化快篩新技術

| 涂煥昌

血糖機、酸鹼石蕊試紙、驗孕棒等都是生活中常見的生理檢測工具，它們的設計原理只用到簡單的生物、化學理論，但使用方便，結果辨識也清楚明瞭。然而這些工具僅能檢測一些簡易的項目，絕大多數與人身健康相關的項目，仍需到醫療機構經由抽血、驗尿等方式，再透過「專業儀器」的處理才能得知結果，就成本與時間效益而言，都需付出相當的代價。但令人扼腕的是，有某些攸關健康的特定檢測因無法第一時間得知答案，而失卻了治療的先機。

「酶」（酵素）是一種大分子生物催化劑，幾乎所有細胞內的代謝過程都與它有關；而各種疾病，甚至是毒物作用，也與「酶」的生物化學反應相關。淡江大學物理系莊程豪教授與化學系陳志欣教授著眼於此，攜手跨界合作，以「酶」為對象，並以「液晶」作顯示工具，成功發展出一種反應快速、判定容易的生化篩檢元件，期能大幅降低檢測的門檻與等待的時間。

陳教授謙虛地表示，在化工領域裡，「液晶」一向應用於顯示器，他們之所以有「液晶顯示」功能轉換至「液晶生化感測」



特定的「蛋白質」分別與「酶」(a)無接觸和(b)有接觸時的示意圖及觀察到的實驗基板影像。「蛋白質」與「酶」接觸後的反應產物會改變液晶分子的排列情況，進而影響來自下方光線能穿透實驗基板形成白亮的影像。

應用的想法，其實是受到美國威斯康辛大學 Nicholas L. Abbott 教授的啟發，因而決定建立研究團隊對這議題做更深一層的探討。

兩位老師的研究先從「應用面」著手，他們設計了一種微型、可透光的檢測基板，先把某種特定的「蛋白質」附著在金質網格壁面上，並把「液晶」分子整齊地排列在網格中。液晶分子原本處於一種整齊、



若能把「液晶顯示」功能轉換至「液晶生化感測」應用，便可以快速、簡單地得到定性的檢測結果。（圖片來源：種子發）

規律的「直立」狀態，使得來自底部的線偏振光線不易穿透基板上方的垂直線偏振片，因此網格影像是呈現黑色的。

當含有某種特定「酶」的水溶液浸入了檢測基板，格壁上的「蛋白質」便與「酶」發生「水解反應」，並碎化成小片段的勝肽。這些小碎片會弄亂了原本排列整齊的液晶分子，源自下方的線偏振光線因受到液晶分子轉動的影響，便改變了線偏振方向，實驗者就可以在基板上方發現亮光。

這是一種把「化學反應」訊號直接轉換成液晶顯示訊號的機制；如此一來，許多與「酶」相關的生物化學反應便可以透過適當的設計，快速、簡單地得到定性的檢測結果，並用肉眼判讀即可，擺脫了往昔對「精密儀器」的依賴。

在化學應用實驗上獲得完好的成果後，莊教授更進一步利用同步輻射光源的「掃描式光電子能譜顯微儀」，觀察、分析在

「微觀界面物理」上整個反應的前因後果。研究團隊成功取得了以「碳」原子為觀察標的，各種分子鍵結變化的證據，並透過表面「金」原子的訊號變化，找出「蛋白質」與「酶」間的反應程度。而這一系列完整的微物理描述，又成為陳教授在設計各種快篩目標物時的重要參考。

「物理」與「化學」雖各是獨立的基礎科學領域，但可以視為不平行的兩條線。莊教授與陳教授的「跨界合作」，從末端的化學應用，一路向上追溯到源頭的機制驗證，做出了一套完整、嚴謹的科學研究。這個成果不僅為各類型「快篩」應用開啟了一條新的道路，更為日後「液晶」的應用指出了一個新的方向。

涂煥昌
本刊特約文字編輯

王道還

甘藷的起源

甘藷（*Ipomoea batatas*）又名地瓜，起源於南美洲，現在是重要的糧食作物。但是學者對兩個基本問題至今仍無一致的答案。第一、甘藷的起源是一次還是多次？哪些植物參與了那個過程？第二、甘藷如何傳布到大洋洲？

由於甘藷起源於新世界，明朝中葉之後才傳入中國，我們總以為甘藷是由歐洲人傳布到舊世界的。但是，在大洋洲，許多島嶼上的島民，例如夏威夷與復活節島，在歐洲人造訪之前就已經種植甘藷，那些甘藷是哪裡來的？

解答第一個問題，必須弄清楚甘藷與某些現生野生親戚之間的演化關係。那些野生親戚在未來甚至可能還有大用—它們也許保留了一些有用性狀，可供甘藷品種改良之用。

至於第二個問題，早在七十多年前就有人大力主張南島民族到過美洲，因此他們在那裡採集了甘藷帶回大洋洲，不過是順手之勞。

現在英國牛津大學的一個團隊借助基因組分析，得到了一個令人意外的結論：甘藷只起源了一次。在甘藷所有的野生親戚中，以大星牽牛（*Ipomoea trifida*）與甘藷的祖先最親近；不過在演化初期，甘藷曾不時與祖先種雜交。以分子時鐘估計，甘藷與大星牽牛已各自演化了 80 萬年。

研究人員還赴倫敦自然史博物館，取得 18 世紀英國偉大航海家庫克（James Cook, 1728-1779）在南太平洋採集的甘藷標本，發現它有獨特的基因組特徵。估計它與其他甘藷品種已隔離至少 11 萬年—那時現代智人還未抵達紐幾內亞、澳洲，更別說是大洋洲、美洲了。而根據考古學者的調查，南島族群直到公元 1200 年左右才登陸復活節島。

這個結論令人意外，一方面，植物借助自然力量散布到海外幾千公里之處，似乎是難以想像的事。不過，達爾文做過一些實驗，想估計植物藉自然力量究竟能散布多遠。而在夏威夷，學者發現了一種植物，它的親戚全生活在墨西哥。另一方面，即使自然散布是事實，更難以令人相信的是，南島民族在各島嶼上各自馴化了甘藷。

因此有些學者認為，現在還不必放棄南島民族曾登陸南美洲的假說。因為歐洲人抵達美洲之後，也許使甘藷品種的多樣性大幅下降；而在更早前南島民族抵達美洲的時候，後來失傳的甘藷品種仍然存在—這樣也能解釋牛津學者的發現。

參考資料：Zimmer, C. All by itself, the humble sweet potato colonized the world. *New York Times*, April 12, 2018; <https://nyti.ms/2GW3DRV>.



地瓜具有極高的營養價值。（圖片來源：種子發）

脂肪與生理時鐘

糖皮質素是一種壓力荷爾蒙，它會刺激成熟脂肪細胞的生產。在人體內，糖皮質素的濃度通常在早晨睡醒後上升，晚上下降。美國史丹福大學的一個團隊以小鼠做實驗，發現了糖皮質素與體重的關係。

研究人員在小鼠睡醒後的不同時段裡為牠們注射糖皮質素，可是所有小鼠的食物供應量都一樣。結果，注射時間越接近晚上的小鼠，體重增加得越多；早上一醒來就注射，體重不會增加。換句話說，高濃度的糖皮質素要是與生理時鐘不匹配，就可能使體重增加。難怪壓力、睡眠失調都與增胖相關。

參考資料：Why fat piles on when the body's daily cycles are in disarray. *Nature*, <https://www.nature.com/articles/d41586-018-04261-7>.



生理時鐘紊亂，可能使體重增加。（圖片來源：種子發）

溫泉降壓

生活在日本長野縣以北山區的獼猴非常有名，因為牠們會享受溫泉。不過，在牠們的棲地中，天然溫泉的溫度高達攝氏 60 度，人與猴子都不會覺得舒適。大概在 1963 年吧，有人觀察到猴子在一家旅社的溫泉浴池中浸泡，那是一隻年輕的雌猴。一開始，一兩隻猴子加入旅客一起泡澡，讓人覺得好玩。不久牠們便令人生厭，加上衛生考量，當地人便為猴子專門建了一座溫泉浴池，水溫維持攝氏 40 度。結果那些前來泡溫泉的猴子成為觀光招徠之資。

最近日本京都大學靈長類研究所的研究人員收集那些猴子的糞便，測量其中的糖皮質素濃度。糖皮質素是壓力荷爾蒙，身體遭遇壓力濃度便會上升。而寒冷的氣溫會使糖皮質素濃度上升，因此泡溫泉可以紓壓。研究人員還發現，高階雌性享受溫泉的時間較長，可能是她們紓壓的需求更大—高階雌性的侵略性較高、體內糖皮質素濃度也較高。（按，獼猴的社會組織以雌性為骨幹，雄性通常待在隊群外圍，不常泡澡，不在研究人員的觀察範圍之內。）

參考資料：Takeshita, R. S. C., et al. (2018) Beneficial effect of hot spring bathing on stress levels in Japanese macaques. *Primates*, First Online: 03 April 2018; <https://doi.org/10.1007/s10329-018-0655-x>.



雙贏的條件

對於自然之道，我們早有成見，而且不假思索就能琅琅上口，例如叢林法則，指仗恃天賦優勢奪取生活資源是天經地義的事。19世紀末，俄國無政府主義者克魯泡特金便針對這一成見發表一系列論文，提醒世人：許多生物都合作求生；弱肉強食並不是自然公理。1902年，那些論文結集成《互助論》在倫敦出版，我國早有譯本。後來的學者一方面覺悟「力大者搏、齒利者齧」的成本與風險太高；另一方面透過田野觀察、實驗與理論模型，刻劃促成動物合作的種種條件，已有許多發現發人深省。最近一個韓國團隊以小鼠做的實驗便是一例。

小鼠的社會行為很有彈性。要是群體的密度較低，個體便各自占據地盤，寸土不讓。要是密度高，牠們便形成嚴格的階層結構，一隻雄鼠支配幾隻嘍囉。這兩種策略都算不上合作；雄鼠的地盤或社會地位基本上由體型、凶猛、意志決定。在互動過程中，每一隻雄鼠都必須評估「敵我」之間的相對優勢以決定行止，而這一評估依賴連結視丘與前額葉的一條神經線路。

韓國團隊給小鼠的作業很簡單：在實驗箱中間的待命區，面對正前方的一對小燈，左燈亮便轉進左邊小室領取獎賞；右燈亮轉進右邊小室。左右燈亮的機率一樣。獎賞有兩種，一種是食物，一種是無線電刺激，刺激的部位是快樂中樞。學者早就發現，小鼠為了追求那種刺激，疲勞飢渴都在所不計。

小鼠學會了作業之後，研究人員便任意選擇兩隻一齊放入待命區，觀察牠們的互動。如果獎賞是食物，體型占優勢又凶猛的那一隻便會把另一隻趕回待命區。可是，如果獎賞是無線電刺激，事態的發展便截然不同。兩隻小鼠會摸索出一條規則：一隻認定一邊，哪一燈亮就由那一隻領賞，誰都不與誰爭。於是兩隻小鼠形成了和平、平等的關係。換句話說，小鼠不必接受灌注五育理念的教育，便能自行建構確保雙贏的社會規則。

不過這個實驗也揭露了動物理性受到的自然限制，例如饑餓與吸引感官的立即刺激（如食物的色香味），使小鼠難以遵循「理性」的策略。其實人並不例外，很少人能按計畫（或需求）儲蓄，是同樣的道理。

參考資料：Rennie, S. M. & M. L. Platt (2018) Mice learn to avoid the rat race. *Nature*, **553**, 284-285.

諾羅病毒

諾羅病毒（noroviruse）是最常見的腸炎病原，全球每年感染人數以千萬計。科學家已經知道這種病毒會利用小鼠免疫細胞上的受體 CD300lf 侵入細胞，但是在小鼠腸道壁卻找不到表現那個受體的細胞。美國華盛頓大學醫學院的一個團隊利用一種螢光劑使表現 CD300lf 的細胞現形，原來諾羅病毒感染的是小腸壁上一種罕見的細胞—毛刷細胞（tuft cells）。

這個發現同時解開了另一個謎：小鼠腸道要是感染了寄生蟲，諾羅病毒造成的症狀會更為嚴重。那是因為寄生蟲感染會使毛刷細胞增生，等於為諾羅病毒提供了更多感染標的。而以抗生素抑制毛刷細胞增生，能減輕諾羅病毒造成的症狀。

參考資料：A stomach virus's mysterious path into the gut is uncovered. *Nature*, <https://www.nature.com/articles/d41586-018-04591-6>.

藝術的愉悅

去年初，英國皇家學會的生物學學報刊出一篇論文，引爆了一場學術辯論，勢頭方興未艾，甚至引起大眾媒體的注意。那篇論文的作者是倫敦大學的博士後研究員朱莉亞（Julia F. Christensen），主旨是：藝術作品創造的愉悅可以培育健康的「選擇行為」（choice behaviour）。

首先，朱莉亞指出現代生活的一個明顯特徵就是追求愉悅（pleasure）。表面看來，這個說法無甚高論。但是她的意思是，由於價值觀的變化，以及工具的多樣化，我們越來越容易獲得愉悅，例如食、色、藥物、電玩等，而我們也越來越容易沉迷於因而得到的愉悅。結果是，神經系統受到影響，使人在面臨選擇時偏向為愉悅而愉悅，無法對可能的選項作清明的思考，以朱莉亞的話來說，就是無法做出「健康的」選擇。

其次，朱莉亞指出大腦裡有兩個與選擇行為特別相干的系統，一個是 A 系統，涉及立即的感官刺激與反應；另一個是 I 系統，涉及先前的經驗與價值，著眼於長期的福祉。耽溺於立即的感官愉悅的人，往往 A 系統越發敏感，而 I 系統越發遲鈍，他們的選擇行為因而不健全、不得體。更麻煩的後果是，耽溺導致的癱瘓根本剝奪了選擇的自由意志。

最後，朱莉亞舉出「神經美學」的研究，指出加強 A 系統與 I 系統的聯繫是可能的—I 系統是賦予愉悅意義與價值的系統。

對於朱莉亞的論述，今年 3 月下旬同一份學報刊出了一篇正式評論，兩位作者分別在西班牙、丹麥的大學任教，其中一位（Marcos Nadal）還是朱莉亞的舊識。評論主旨聚焦於朱莉亞的基本假定。朱莉亞主張藝術作品引起的愉悅，與食、色、藥物、電玩等引起的愉悅不同，兩者有高下之別。而評論者指出，就大腦機制而言，兩種愉悅並無二致；他們強調那是認知神經科學的事實，而不是個人意見。引起新聞記者注意的正是這一點：自 1990 年起，認知神經科學便是流行文化中的顯學，學者怎麼會對這麼基本的事實都沒有共識？

根據紐約時報記者的報導，面對這個問題，學界可分為三派，一派主張藝術引起的愉悅與其他種類的愉悅都來自同一神經機制，第二派支持朱莉亞，第三派則聳聳肩，說不知道，或者根本不在意。

不過，藝術的愉悅，或說美感，涉及的不只是神經科學的事實，而是我們對於自己的理解，以及了解人的理想方法。因此科學家（或科學界）無論如何都得有個說法，以嘲諷的態度面對並不恰當。同志仍須努力。

參考資料：Murphy, H. why scientists are battling over pleasure? *New York Times*, April 10, 2018; <https://nyti.ms/2HoM5ip>.

王道還

生物人類學者（已退休）



醫學崩壞 從何說起

■ 李尚仁

近年台灣醫療界出現一股聲浪，宣稱出現了「醫療崩壞」。醫療環境惡化導致醫護人員過勞、待遇和地位都日形低落；醫病糾紛大幅增加，醫療人員不只常挨告而且還會挨打，遭到家屬甚至病患暴力相向的案例時有所聞；甚至內科、外科、兒科、產科、急診等醫療風險大的專科後繼乏人，醫療人員出逃到醫美乃至國外等情況增加。總有一天會出現有病沒人醫的慘狀。

本文不擬討論「醫療崩壞」究竟是真實危機的預言，還是醫療專業爭取權益的誇張說法，而是要指出所謂「醫療走向敗壞」這樣的感觸並非台灣所獨有，現代醫學出現「危機」的說法甚囂塵上已有一段年月。本文介紹的是這種危機感更深刻廣泛的根源。

正如哈佛大學醫學史學者布蘭特（Allan Brandt）與嘉德娜（Martha Gardner）一篇精彩的文章指出，許多醫界人士認為 19 世紀晚期到 1960 年代是現代醫學的「黃金時代」，到了 1970 年代卻開始出現對現代醫學的失望、不滿與批評，甚至反對的聲浪。這樣的轉折反映了醫療與社會深刻的變遷。



西方醫學的黃金時代

西方醫學 19 世紀晚期陸續出現一系列斐然的成就。隨著細菌學在 19 世紀後期的興起，肺結核、傷寒、鼠疫、白喉、瘧疾等過去構成人類社會重大死因的傳染病，科學家陸續找出其病因與感染途徑，並透過提供乾淨的飲水、汙水和垃圾的處理、疫苗接種等衛生措施，來減少這些疾病的罹病率與死亡率。抗生素的發現更帶來不少傳染病的有效治療。

現代外科也是不斷地拓展其疆域，過去視為禁區的胸腔、腹腔在麻醉與消毒技術的幫助下逐一被打開，而能有效治療許多過去必然導致病人死亡或嚴重失能的疾病與傷害。糖尿病、高血壓等慢性疾病雖然無法治癒，卻也研發生產出能加以控制的藥物。此外，大多數的經濟發達國家都有政府推動的健康保險，讓國民都擁有基本的醫療照護。

布蘭特與嘉德娜尤其強調細菌學說的重要性。細菌學說認為疾病都有其特定的病因（微生物），且可以尋找到針對病因加以預防或治療的抗生素與疫苗。這種宛若可

以自行追擊目標的「魔彈」（magic bullet）式預防與治療策略，構成了現代醫學的重要典範。二次大戰前後西方醫學幾個重要的發現，如廣效性的抗生素盤尼西林、治療結核病的鏈黴素、治療糖尿病的胰島素等藥物的發現，更展現了這種醫學典範的強大力量。

另一方面，20世紀初醫院開始使用越來越多各式各樣的科技與儀器，科技醫療的年代已然來臨。這樣的發展明顯見諸從心臟手術到器官移植等一系列的外科里程碑。

布蘭特與嘉德娜指出更重要的是，人們健康確實有所改善。美國人的平均壽命從1900年的48歲左右上升到1970年的70歲；法國人從1900年的45歲提高到1972年的69歲；英格蘭和威爾斯從1910年的52歲提高到1970年的69歲。從二次大戰之後到1960年代，現代醫學的成就普遍受到肯定，且認為醫學在未來還會不斷進步。醫療專業人員的社會地位也提升到前所未有的高度。時至今日，根據世界衛生組織的統計，絕大多數經濟發達國家的國民平均壽命都達到80歲以上了，這是相當可觀的成就。

1970年代的醫學反挫

然而，在20世紀晚期卻開始對現代醫療瀰漫著一股不滿、失望與憂慮，這種負面的氛圍在不少經濟發達國家尤其明顯。布蘭特與嘉德娜指出，這種不滿一方面和歐美70年代的文化氛圍有密切關係。歐美在1960年代爆發大規模的學生運動、反越戰運動、婦女運動、環保運動等，這些社會運動往往對現代科學與技術抱持懷疑、批判與敵視的態度。另一方面，現代醫學因其化約



盤尼西林是由橘子皮上的黴菌生成（圖片來源：種子發）

論的取向、使用常民不易理解的冰冷深奧科學術語、高度的專科分化，以及現代醫院的理性管理，往往也成為批評的對象。

批判現代醫學的文化風潮也呈現於人文和社會科學的論述，其中伊凡·伊里奇（Ivan Illich, 1926-2002）頗為聳動的論點很具代表性。他在1975年出版了《醫學報應》（*Medical Nemesis*）這本著作，對現代醫學提出激烈的抨擊。伊里奇的核心概念是「醫源」（iatrogenesis），這是由兩個來自古希臘文的字所組成，其中 *iato* 指的是「醫療」、「醫師」，意指「起源」、「產生」的 *genesis* 今天則仍常用。這個有點學究味的英文字眼今天常用在醫源性疾病（iatrogenic disease）這個概念，意指醫療行為所產生的疾病與傷害。

這種負面的意涵是伊里奇重用這個字的原因，他在書中引用許多關於醫療疏失意外、不必要的醫療、藥物副作用、醫療場所感染等相關醫學研究，極力主張現代醫學造成的疾病與死亡遠高於救活的人數。

但他指涉的範圍更廣，不只強調醫療行為意外產生的疾病，甚至認為現代醫學剝奪人們自我療癒與互助醫療的權利，介入人們從生到死的各種重大過程，讓人失去對自己身體做決定與自主行動的能力。

伊里奇對現代醫學的這種批評當然極具爭議性，批評者常認為他對統計數字與醫學研究做選擇性的使用，看法偏頗、極端。然而，頂尖醫學期刊《柳葉刀》（*Lancet*）2003年刊出的伊里奇評論卻表示：當年他的觀點「被貼上極端的標籤，如今許多他的態度卻反映在健康照護的改變，如醫師病人關係的變化」；而現代醫院因為抗藥性細菌的出現導致院內感染的死亡率增高，也讓「《醫學報應》帶有一種先知的意味」。

失控的醫療支出

對現代醫學的激進社會文化批評，只是不滿現代醫學較為顯而易見的表面聲浪之一。在政治經濟結構面，還有針對現代醫學更為根本而強大的潮流來襲。

醫學黃金時代的發展也有其經濟基礎，布蘭特與嘉德娜提到，西方醫學不論教育制度、醫療機構與研究發展，從19世紀末開始由過去依賴私人付費與慈善團體贊助的行業，逐漸轉變為一個由國家支持、保護與監督的專業領域。此外，經濟發達國家的健康花費在這段期間也快速成長。「從1891年到1971年，法國個人醫療服務的支出增加了9倍，同一時間美國則增加了14倍。」在1994年，美國醫療保健支出占國民生產毛額的百分之十四點二、德國百分之十點五、法國百分之八點九、英國百分之六點九。

到了70年代，西方國家開始發現這種支出的增加似乎永無止境且難以控制。

更重要的是，經濟發達國家自二次世界大戰後經濟高速成長的長榮景期（the Long Boom），在1970年代石油危機之後停止。經濟成長無法跟上醫療支出的成長，甚至落差越來越大。醫療支出問題成為所有經濟發達國家難以迴避的重大問題。

為什麼醫療費用會節節高升呢？當然現代醫療使用的儀器、藥物乃至高度訓練的人力本身都不便宜，經營複雜的現代醫院成本更是不低。此外，在大多數急性傳染病都受到控制之後，可以控制但無法治癒而需要長時間服藥與定期檢查的慢性疾病如糖尿病、高血壓等，成為經濟發達國家主要的疾病負擔。醫學再怎麼進步也無法逆轉人體因為老化而產生的退化病變，不論失智或洗腎都是長期的經濟負擔，而隨著平均壽命的延長，需要這類醫療服務的人數有增無減。

先進國家不論其醫療給付是公營健康保險、公醫制度或是私人保險，都面臨醫療支出不斷升高和醫療資源難以因應病人需求的困境。如何滿足民眾的醫療需求，在許多國家成為重大的政治問題。

這點可以見諸2017年英國大選，恰逢英國公醫體系醫院因經費不足資源捉襟見肘，年輕醫師也因為減薪不安發動罷工，而成為在野工黨猛攻的議題。大選結果執政的保守黨失去了不少席次。近年美國則環繞著健保議題而出現強烈的政治紛擾：歐巴馬總統使盡力量與各種妥協創設了和歐洲國家相較起來缺陷不少的健保，而川普上台後屢次試圖廢除。

化約、管理及其不滿

現代醫學的專業分化使得醫療成為一門需要高度管理的領域，只要看任何一所

現代大醫院的經營運作，就可以了解這點。進入醫院的病人往往必須往返不同的部門，接受不同專業人員的檢驗、診察、治療與照護，這過程本身往往就像在跟龐大的官僚機構或企業組織打交道。慢性病的預防更是讓醫療介入人們飲食、生活習慣等各個領域。

以伊里奇對現代醫學的批判為例，其實他最主要的論點是反對現代醫學對人們生活的干預、介入與管理。伊里奇是一位批判資本主義、官僚體系、專家政治與企業組織的激進思想家，強調個人的自主性、能動力，以及草根組織運動。在他眼中，由專業人員所掌控的現代醫學對當今社會的各種弊病不只提出了錯誤的解方，甚至積極地轉移注意、維護現狀而造成治絲益棼。

在伊里奇眼中，現代醫學本身是造成人類社會不健康發展的重要因素。而高科技、專業控制、組織複雜嚴密的現代醫院，其對病人的管理控制與全面介入，恰好是他所反對的一切事物的極致結合。

一般人或許不會像伊里奇那樣對現代醫學的管理介入有如此強烈的反感，但醫學的高度管理化以及對個人生活的介入，確實是帶來不滿與反挫的原因。稍微檢視一下台灣醫療專業近年所謂「醫療崩壞」的說法，可以發現對於健保署為了控制支出所採用的總額制度與做法，以及醫院為了降低成本與提高效率所實施的管理措施，往往是造成不滿的主要原因。

深度閱讀資料

Brandt, A. M. and M. Gardner (2000) The Golden Age of Medicine? In: *Medicine in the Twentieth Century*, pp. 21-37, Cooter, R. and J. Pickstone Eds., Howard Academic Publishers.

尾聲：改變的可能何在

對於科技醫療、專科分化與大型醫院對醫病關係所造成的疏離作用，以及過度醫療介入造成的種種弊端，近年醫學界也有不少的反省與改革做法。例如歐美倡議多時的全人醫療（holistic medicine），強調醫師對病人乃至社區要有深入密切的關係，了解病人身體心理全面的需求，並以這為基礎進行醫療照護。負責基層全科照護的家庭科醫師在醫學專科分化的過程中原本地位低落，近年來他們的重要性則受到很大的強調與重視。

從日本興起的在宅醫療運動，主張醫護人員應該前往長期慢性病患居家進行醫療照護，而非讓病人的醫療需求都必須靠前往醫院來解決。在宅醫療運動這點和居家生產、自然生產運動的去醫院化走向有異曲同工之妙。此外、安寧醫療甚至安樂死的興起，在某種意義上都是對過度醫療的反思與修正。這些變革是否能改正現代醫學讓人不滿的問題，矯正化約論、過度集中化與過度管理的弊端，雖仍在未定之天，但改革的種種具體嘗試已經展開了。

李尚仁

中央研究院歷史語言研究所

生活中的演化生物學

為增進社會大眾對科學有更深入的瞭解，科技部結合國立自然科學博物館資源，共同規劃出一系列近週末的大眾科學教育專題演講，邀請不同科學領域的傑出專家學者，深入淺出地引領大眾窺探科學發現的趣味與甜苦，並融入人文、倫理、藝術與社會關懷的對話，以期兼顧科學普及與人文涵養的提升。



107
03.16 五
科普書中的演化論
陳恆安 副教授
國立成功大學歷史學系

107
03.23 五
演化與防疫大作戰
鄭謙仁 教授兼院長
國立臺灣大學獸醫專業學院

107
04.13 五
**從演化觀點看
男女有別與男歡女愛**
林良恭 特聘教授兼教務長
東海大學生命科學系

107
04.20 五
**透過演化之窗看
我們的生老病死**
劉德祥 副研究員
國立自然科學博物館

107
05.04 五
為什麼達爾文要先講鴿子
于宏燦 教授
國立臺灣大學生命科學系

107
05.11 五
道德的起源
黃榮村 前教育部長
中國醫藥大學前校長 講座教授

107
05.25 五
人的適應和不適應
宋克義 教授
國立中山大學海洋科學系

107
06.01 五
植物學家的人類學之旅
鍾國芳 副研究員
中央研究院生物多樣性中心

演講時間 | 週五 14:00-16:00

演講地點 | 國立自然科學博物館BI多用途劇場。

若有地點更動，將於粉絲頁公告。

本系列演講活動皆免費參加，因座位有限，歡迎個人或團體提前報名

參加者皆可獲贈《科學發展》月刊，贈完為止。

現場發送講座認證卡，單季集滿四場講座認證章，即可兌換科博館招待券，贈完為止。

本活動可登錄於公務人員終身學習網、教師研習時數。

演講現場網路直播：<https://goo.gl/8QoSfT>，歡迎收看。手機觀看請掃描下方直播QR code。

歷年講座影片線上觀看：<http://knowledge.colife.org.tw/weekendshare>

計畫主持人：周文豪 副館長 / 國立自然科學博物館。

共同主持人：薛富盛 校長 蔡新聲 講座教授 / 國立中興大學。

活動聯繫人：助理 鄭琮馨 / 04-23226940#519。

報名方式：

- 電話報名：04-23226940#519，聯絡人：鄭小姐，時間：週一至週五 09:00~17:00，活動當天請直接至現場報名。
- 電子信箱報名：masterview2012@gmail.com，請檢附姓名、聯絡方式及報名場次，並收到回覆才算報名成功。

注意事項：

- 以簽到單為準，若有連續2場次未簽到者，後面所有的場次報名一律取消，且不通知，仍可重新報名。
若於報名成功後，有無法到場之場次，請主動提前通知，將不取消其餘場次。
- 主辦單位有權修改、暫停或取消本活動，活動資訊請以週末Let's go!分享大師視野
<https://www.facebook.com/go.masterview>網路公告為主。

主辦單位： 國立自然科學博物館
NATIONAL MUSEUM OF NATURAL SCIENCE

協辦單位： 國立中興大學
National Chung Hsing University

 NCHC 國家高速網路與計算中心
National Center for High-performance Computing

補助單位： 科技部
Ministry of Science and Technology



Facebook粉絲專頁



加入LINE好友



Youtube直播

展望

2018

春季系列演講

- 4/13 **淺談擴增/混合實境技術**
—一人與人工智慧合作的最佳介面
翟志行 國立清華大學工業工程與工程管理學系教授
- 4/20 **無人駕駛車時代來臨了嗎？**
—自動駕駛技術面面觀
李綱 國立臺灣大學機械工程學系副教授
- 4/27 **無人機的世界**
—未來人類的交通與物流
賴維祥 國立成功大學航空太空工程學系教授兼主任
- 5/04 **當傳統遇上現代**
—發展中醫AI應用
藍崑展 國立成功大學資訊工程學系暨醫學資訊研究所副教授



5/25

I Robots—智能機器人的技術、研究與發展趨勢
葉廷仁 國立清華大學動力機械工程學系特聘教授

6/01

百年追求—兼談引力波向相對論歸隊後的展望
李傑信 NASA太空任務科學家

6/08

量子電腦—量子科技時代的來臨
張為民 國立成功大學物理學系特聘教授

6/15

當薛丁格遇上圖靈—量子時代的密碼學2.0
鍾楷閔 中央研究院資訊科學研究所副研究员

全面啟動的未來世界

人類2.0社會的科幻成真

4/13—6/15 週五 晚間 7:00—9:00

國立臺灣大學應用力學研究所一樓國際會議廳

國立臺灣大學天文物理研究所 陳丕榮 教授
孫維新 館長
國立自然科學博物館

主持人

免費參加

歡迎現場報名，因座位有限，團體請預先聯絡

| 演講需知 |

本系列講座準時開始，為保障大眾的權益，請提前到場。
講座於半小時前開放入場，欲知參加辦法，請上活動網站。
講座有提供現場直播，直播網址為：<https://goo.gl/42tPuR>
現場備有茶水，請自行攜帶杯具盛裝，場內嚴禁飲食。

| 活動網站 |

展望演講—<https://prospect.phys.ntu.edu.tw>
展望部落格—<http://prospect-speech.blog.ntu.edu.tw>
展望粉絲專頁—<https://www.facebook.com/ntuprospect>
展望線上影音收看—<http://knowledge.colife.org.tw/starphys>

| 活動獎勵 |

現場參加者可獲贈科技部《科學發展》月刊1本，
數量有限，送完為止。
全勤者可獲贈科普書籍1本(需集滿8場戳章)。
每場核發公務人員終身學習和教師研習時數2小時。

| 聯絡資訊 |

02-33669730 林先生
ntuprospect@phys.ntu.edu.tw
歡迎團體來電預約

**歡迎掃描
QRCode**
瞭解講演資訊



**直播網址
Scan me**

直播將視各講座情況不同而調整，主辦單位保有取消等權利，請依臉書公告為準。

| 補助
單位

MOST 科技部
Ministry of Science and Technology

| 主辦
單位

國立臺灣大學物理系
暨天文物理研究所

| 協辦
單位

國家實驗研究
National Center for High-performance Computing

SCIENTIFIC
AMERICAN

PanSci

Discovery
CHANNEL



廣告