

蝙蝠研究



台師大吳忠信教授團隊研究蝙蝠的故事

動感蝠神-台師大吳忠信教授團隊研究蝙蝠的故事

章節	故事內容	頁次
0	動感蝠神實驗室：帶你走進蝙蝠的超聲波世界	1
1.	認識蝙蝠	4
2.	蝙蝠回聲定位的科學史	6
3.	解開蝙蝠辨識自身回聲之謎	7
4.	蝙蝠超聲波的聽覺構造大不同	10
5.	蝙蝠其實不瞎	11
6.	蝙蝠的防凍機制	12
7.	蝙蝠幫助人類瞭解神經退化疾病	13
8.	環境農藥重金屬導致蝙蝠迷航	15
9.	蝙蝠糞便入藥科學真相：抗氧化有效，但重金屬超標	17
10	跨國合作開啟臺灣蝙蝠病毒研究	18
11	中藥有助於緩解蝙蝠病毒引發的新興疾病	19

動感蝠神實驗室：帶你走進蝙蝠的超聲波世界

在國立臺灣師範大學有一間名字很酷的研究室——**動感蝠神實驗室**。名字來自四大研究方向的字首：**運動**生理、**感覺**生理、**蝙蝠**神經與行為、**神經**退化研究。這也象徵研究跨越生物學、神經科學與醫學，是一間真正「跨界」的科學基地。

蝙蝠怎麼在黑暗中不迷路

主持人吳忠信教授是臺灣蝙蝠研究的重要推手。他利用超聲波偵測、MRI 掃描與行為分析，研究蝙蝠如何在伸手不見五指的夜空中飛行。研究發現：蝙蝠能分辨自己發出的回聲，不會被同伴的聲音干擾；幼年蝙蝠還需要大量練習，才能成為真正的「飛行高手」。

蝙蝠視覺與聽覺功能大不同

吳教授研究發現蝙蝠的聽覺系統高度專業化：FM 型蝙蝠用快速變化的短波聲辨識物體細節，而 CF-FM 型蝙蝠則利用穩定長波與都卜勒效應偵測昆蟲速度，兩者的耳蝸大小與聽覺神經構造也明顯不同。更令人驚訝的是，蝙蝠並不瞎，牠們的視網膜能感受紫外光與紅外光，有些種類甚至像「夜視鏡」般在昏暗環境中清楚飛行。果蝠依靠敏銳視覺辨識成熟果實；食蟲蝙蝠則結合視覺與超聲波回聲定位，在夜空中精準導航與捕食。

蝙蝠可以作為研究哺乳動物防凍機制的理想模式

吳教授研究冬眠蝙蝠的體表溫度常降到接近冰點，甚至覆上薄霜仍不會凍傷。研究發現牠們能在低溫下降低自由基（ROS）產生，避免細胞受到氧化傷害，形成類似「超冷」的保護效果。與一般哺乳動物不同，蝙蝠可能具備特殊的低溫神經保護機制，使大腦與器官在極寒環境中仍能正常運作。這種防凍能力讓洞穴蝙蝠成為研究哺乳動物抗凍生理的理想模式，也展現牠們在大自然中驚人的生存適應。

蝙蝠可以幫助醫學研究神經退化

蝙蝠的大腦導航系統與人類的空間記憶很相似。吳教授將蝙蝠研究延伸到阿茲海默症與巴金森氏症，探索神經退化疾病的可能機制。吳教授研究發現蝙蝠的大腦擁有與人類相似的「定位導航系統」，其海馬迴與內嗅皮質的定位細胞能記住路徑與空間位置，是研究阿茲海默症記憶退化的理想模式。研究也發現環境重金

屬與農藥會造成蝙蝠這些導航神經元的凋亡，與人類早期失智症的病理變化高度相似。此外，迴聲定位蝙蝠在接受 MPTP（巴金森氏症動物模型常用的神經毒素）處理後，會出現聲音、聽覺、定向與運動障礙，與人類巴金森氏症症狀一致，使蝙蝠成為研究神經退化疾病的新興關鍵物種。。

蝙蝠可以作為環境健康的指標

蝙蝠糞便雖在中醫典籍中被認為能退熱、明目，吳忠信教授研究顯示其抗氧化力主要來自少量維生素 B 群（B1、B2、B3、B5），食蟲蝙蝠每天能吃下數百至上千隻昆蟲，因此當環境中累積農藥或重金屬時，這些毒素也會快速在蝙蝠體內放大。吳教授研究發蝙蝠糞便中的鉛、汞、砷、錳與農藥益達胺含量，能精準反映各地工業排放與農業污染的程度。當蝙蝠攝入過量毒物時，牠們的發聲、聽覺與飛行定向系統會受損，甚至出現「迷航」現象，因此蝙蝠的健康變化可作為監測環境污染的早期指標。

跨國合作開啟臺灣蝙蝠病毒研究

吳忠信教授團隊自 2016 年開始與日本名古屋大學教授以及臺灣蝙蝠學會合作，投入瑞芳蝙蝠洞的病毒監測研究，該地為東南亞最大的東亞摺翅蝠繁殖地，但蝙蝠族群十年間數目驟降。吳忠信教授採集蝙蝠糞便並以次世代定序（NGS）建立病毒資料庫，解析出腦心肌炎病毒、腸道病毒 F 株、兔病毒與西班牙綿羊腦炎病毒等多種病毒。這些病毒可能影響蝙蝠繁殖與存活，亦可能經由蝙蝠糞便傳播至豬、牛、兔、羊等家畜，造成畜牧風險。研究成果不僅揭示摺翅蝠族群衰退的可能因素，也凸顯建立蝙蝠病毒防疫系統的重要性，為臺灣未來的野生動物健康監測奠定基礎。

新冠疫情爆發後，全球再度聚焦蝙蝠在新興病毒中的關鍵角色。吳忠信教授指出蝙蝠因免疫系統強韌、群居與長距離飛行等特性，成為多種高致病性病毒的天然宿主，雖自身無症狀，卻可能在突變後引發人畜共通疾病，包括狂犬病、伊波拉、SARS、MERS 及 COVID-19 等。蝙蝠糞便攜帶的病毒更可能感染豬、牛、兔、羊等家畜，對農牧業造成衝擊，已成為不可忽視的公共衛生風險。

面對新興病毒威脅，吳教授亦強調中醫藥在防疫上的科學潛力。金銀花、連翹、板藍根、魚腥草等科學中藥具抑制病毒複製、阻止病毒入侵細胞、抗炎與提升

免疫力等多重作用；臺灣研發的「清冠一號」更在 COVID-19 期間展現臨床成效，成為國際矚目的漢方防疫成果。研究顯示，結合蝙蝠病毒監測與科學中藥機制，不僅有助理解病毒宿主耐受性，也為未來新興傳染病的預警與防治提供重要科學支點。

科普教育讓更多人看見蝙蝠的價值

除了研究，吳教授也積極推動科普教育，翻轉蝙蝠的負面形象，讓大家知道牠們是森林的守護者、農業的好幫手。動感蝠神實驗室也與地方社區合作，讓科學走進偏鄉與校園，成為臺灣在推動蝙蝠研究的重要推動者。

1. 認識蝙蝠

蝙蝠是地球上唯一能真正依靠雙翼飛行的哺乳動物，也是全球數量最龐大的哺乳類群之一。牠們的種類多達近千種，約佔所有哺乳動物的四分之一，僅次於齧齒類。除了極地與沙漠，蝙蝠幾乎遍佈所有陸地環境。在分類上屬於翼手目，分為大翼手與小翼手兩大亞目，共 18 科。臺灣目前記錄到的蝙蝠約三十餘種，分屬 2 亞目 6 科，佔全台陸域哺乳類的三分之一，其中包含 11 種特有種與 6 種特有亞種。牠們生活在森林、洞穴，也有些家蝠會在民宅屋簷或天花板安家，與人類共享空間。

白天的天空由鳥類主宰，而蝙蝠選擇在競爭者較少的夜晚活動。牠們白天倒掛休息，夜幕降臨後成群飛離棲息地覓食。多數野生動物依賴視覺探索環境，但在黑暗中視力派不上用場；蝙蝠則利用回聲定位，以超音波偵測反射回來的聲波，精準掌握周遭物體的位置與距離，相當於以聽覺取代視覺。

蝙蝠的飛行能力來自特化的前臂與指骨所撐起的薄而有彈性的翼膜，尾部翼膜還延伸包覆後肢，使牠們能靈活操控飛行姿態。牠們的上臂肌肉依身體比例來看比人類更強壯，使蝙蝠能高速飛行，有些種類時速可達 50 公里以上。科學家曾測得巴西游離尾蝙蝠的水平飛行速度超過 160 公里／小時，甚至比蜂鳥俯衝速度與褐雨燕的水平飛行速度還快，創下野生動物飛行紀錄。更特別的是，鳥類通常靠雙翼向下拍動產生升力，而蝙蝠在向上拍動時也能產生升力，使牠們能在空中做出更細緻的操控。

蝙蝠在農業生態系中扮演重要角色。食蟲蝙蝠一晚能吃掉數百到上千隻昆蟲，其中包含許多危害農作物的害蟲，是天然的害蟲控制者，能減少農藥使用並降低環境污染。蝙蝠糞便富含磷，是高效有機肥料，臺灣部分農民會設置蝙蝠屋，利用蝙蝠除蟲並收集糞便施肥，使作物更健康、減少化肥傷害。世界上也有上百種果樹仰賴蝙蝠傳粉或散播種子，牠們是熱帶與亞熱帶森林的重要生態工程師。蝙蝠提供的這些生態服務不僅對環境友善，也為農業帶來新的永續模式，是名副其實的免費農業幫手。

【吳忠信教授實驗室介紹蝙蝠的科普文章】

1. 吳忠信(2009)臺灣蝙蝠的多樣性。林業研究專訊 16 期 30-37 頁。
2. 吳忠信(2011)蝙蝠是會飛的老鼠？還是不會下蛋的鳥？臺灣博物季刊 30 卷第 2 期 30-33 頁。
3. 吳忠信(2011)發現幸福。林務局台灣森林多樣性專刊 126-127 頁。
4. 吳忠信(2013)淺談蝙蝠對農業的生態服務。農業世界雜誌 364 期 50-53 頁。

2. 蝙蝠回聲定位的科學史

蝙蝠能在伸手不見五指的黑暗中自由飛行、捕捉昆蟲，這項能力早在三百多年前就引起科學家的好奇。十七世紀末，義大利科學家斯帕蘭扎尼（Lazzaro Spallanzani）進行了一系列實驗，他把蝙蝠與貓頭鷹放進微弱燈光的密室，兩者都能順利辨識方向並躲避障礙物。然而當燈光完全熄滅後，情況立刻不同：蝙蝠依然能在黑暗中靈巧飛行，而貓頭鷹卻頻頻撞上障礙物。斯帕蘭扎尼因此推測，蝙蝠可能擁有某種「第六感」，能在沒有光線的環境中感知周遭世界。他將這些觀察公布，希望能有更多科學家加入解謎。

不久後，瑞士科學家查爾斯·朱尼（Charles Jurine）提出更具體的線索。他發現只要堵住蝙蝠一側的耳朵，蝙蝠便會失去方向感，無法避開黑暗中的障礙物。朱尼推論蝙蝠可能是「用耳朵來看東西」。雖然這個想法在當時並未被廣泛接受，但它為後來的研究埋下重要伏筆。

真正揭開謎底的是 150 年後的 1930 年代。哈佛大學的年輕學生格里芬（Donald R. Griffin）利用能將超聲波轉換成人耳可聽聲音的儀器，首次清楚記錄到蝙蝠在飛行時會持續發出高頻超聲波，並依靠反射回來的聲波判斷前方物體的位置。他將這種能力命名為「回聲定位」（echolocation），正式解釋了蝙蝠如何在黑暗中「看見」世界。

蝙蝠的回聲定位系統由三大部分組成：發聲、聽覺與飛行定向。牠們利用喉頭肌肉快速收縮產生高頻音波，再從嘴或鼻子送出超聲波。當聲波碰到前方物體時會反射回來，蝙蝠的耳朵便能接收這些回聲，並在大腦中迅速分析物體的距離、大小、形狀甚至移動速度。蝙蝠的聽覺極為敏銳，能接收遠高於人類聽覺上限（約 20 kHz）的聲波，使牠們能在黑暗中精準捕捉飛行中的昆蟲，也能靈巧避開障礙物。

【吳忠信教授實驗室介紹蝙蝠回聲定位的科普文章】

1. 吳忠信(2005)蝙蝠的回聲定位。科學教育月刊 267 期 11-27 頁。
2. 吳忠信(2006)動物叫聲的研究及其妙用。科學月刊 37 卷 5 期 2-11 頁。

3. 解開蝙蝠辨識自身回聲之謎

蝙蝠能在黑暗中精準飛行與捕食，靠的是牠們獨特的超聲波回聲定位系統。自然界中能發出或接收如此高頻聲波的動物非常少，因此蝙蝠的超聲波訊號不容易受到其他聲源干擾，能清楚分辨自己與同伴的聲音，也能準確掌握獵物的位置並避開天敵。當蝙蝠連續發出高頻超聲波後，反射回來的聲波會進入耳朵，由內耳耳蝸轉換成神經訊號，再透過聽神經一路傳到延腦、中腦的下丘、視丘，最後抵達大腦顳葉的聽覺皮層。這套高速的神經處理路徑讓蝙蝠能在瞬間判斷前方物體的距離、大小與移動方向。

古人也曾注意到蝙蝠的夜間行為。唐代詩人元稹在《景中秋》中寫道：「簾斷螢火入，窗明蝙蝠飛」，其實蝙蝠並不是喜歡亮光，而是亮處常聚集大量昆蟲，正是牠們覓食的好地方。食蟲性蝙蝠的食物種類非常廣，包括甲蟲、蛾類、蚊蠅等，但不同蝙蝠的食性仍有差異。例如台灣葉鼻蝠偏好大型甲蟲，台灣小蹄鼻蝠主要捕食蛾類，而台灣彩蝠則是少見以蜘蛛為主食的蝙蝠。

長久以來，科學家一直想解答一個問題：在成群飛行、彼此都發出超聲波的情況下，蝙蝠如何分辨自己的回聲而不被同伴干擾？吳忠信教授的研究團隊利用特殊超聲波偵測器記錄蝙蝠的聲波，再以電腦分析其特徵，發現蝙蝠的大腦其實具有「預期」能力。當蝙蝠發出一個長音的超聲波時，牠會預期回來的回聲也會是長音，因此能在眾多聲波中迅速找到屬於自己的那一道。每隻蝙蝠都在尋找自己的回聲，群體之間便不會互相干擾，能在夜空中安全飛行、自由覓食而不相撞。

回聲定位不只讓蝙蝠能在夜晚有效利用昆蟲資源，也讓牠們能在黑暗的洞穴中安全生活，避開天敵，降低被捕食的風險。這也是許多洞穴蝙蝠形成大型群聚的重要原因之一。

【吳忠信教授實驗室研究蝙蝠辨識回聲的 SCI 期刊論文】

1. Jen PH-S, Zhou XM, Wu CH(吳忠信) (2001) Temporally patterned pulse trains affect intensity and frequency sensitivity of inferior collicular neurons of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *Journal of Comparative Physiology A* 187: 605-616. 【SCI】時間模式回聲的重複率影響大棕蝠下丘神經元的強度和頻率敏感性。

2. Jen PH-S, Wu CH(吳忠信), Luan RH, Zhou XM (2002) GABAergic Inhibition contributes to pulse repetition rate-dependent frequency selectivity in the inferior colliculus of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *Brain Research* 948: 159-164. 【SCI】
下丘神經元 GABA 參與大棕蝠對回聲重複率與頻率的選擇性。
3. Jen PH-S, Wu CH(吳忠信) (2005) The role of GABAergic inhibition in shaping the response size and duration selectivity of bat inferior collicular neurons to sound pulses in rapid sequences. *Hearing Research* 202:222-234. 【SCI】GABA 增強下丘蝙蝠下丘神經元對回聲重複率與頻率的選擇性。
4. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2006) The role of GABAergic inhibition in shaping duration selectivity of bat inferior collicular neurons determined with temporally patterned sound trains. *Hearing Research*. 215: 56-66. 【SCI】GABA 抑制作用在塑造蝙蝠下丘腦神經元聲音時長選擇性中的角色
5. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2006) GABA-mediated echo duration selectivity of inferior collicular neurons of *Eptesicus fuscus*, determined with single pulses and pulse-echo pairs. *Journal of Comparative Physiology A* 192: 985-1002. 【SCI】以單一脈衝與脈衝-回聲組測得之大棕蝠下丘腦神經元的 GABA 介導回聲時長選擇性
6. Jen PH-S, Wu CH(吳忠信) (2006) Duration selectivity organization in the inferior colliculus of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *Brain Research*. 1108: 76-87.【SCI】
大棕蝠下丘腦神經元聲音時長選擇性的組織架構
7. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2007) Neurons in the inferior colliculus of the big brown bat show maximal amplitude sensitivity at the best duration. *Chinese Journal of Physiology* 50(5): 258-268. 【SCI】大棕蝠下丘腦神經元於最佳時長呈現最大振幅敏感性
8. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2008) Auditory frequency selectivity is better for expected than for unexpected sound duration. *NeuroReport* 19(1):127-131. 【SCI】蝙蝠在預期聲音時長下展現最佳的聽覺頻率選擇性
9. Jen PH-S, Wu CH(吳忠信) (2008) Echo duration selectivity of the bat varies with pulse-echo amplitude difference. *NeuroReport* 19(3):373-377. 【SCI】

10. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2008) Bat inferior collicular neurons have the greatest frequency selectivity when determined with best-duration pulses. *Neuroscience Letter* 438: 362–367. 【SCI】以最佳時長脈衝測得之蝙蝠下丘腦神經元展現最高頻率選擇性
11. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S* (2008) Echo frequency selectivity of duration-tuned inferior collicular neurons of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*, determined with pulse-echo pairs. *Neuroscience* 156: 1028–1038. 【SCI】以脈衝-回聲組測得之大棕蝠下丘腦時長調諧神經元的回聲頻率選擇性
12. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2009) Echo amplitude selectivity of the bat is better for expected than for unexpected echo duration. *NeuroReport* 20(13):1183-1187. 【SCI】蝙蝠對預期回聲時長展現更佳的回聲振幅選擇性
13. Wu CH(吳忠信), Jen PH-S (2010) A duration coding mechanism underlying bat echo recognition. *Adaptive Medicine* 2(2): 71-77 (Review paper) 蝙蝠回聲辨識的聲音時長編碼機制
14. Jen P, Wu CH(吳忠信), Wang X (2012) Dynamic temporal signal processing in the inferior colliculus of echolocating bats. *Front. Neural Circuits* 6:27. doi: 10.3389/fncir.2012.00027. 【SCI】迴聲定位蝙蝠下丘腦的動態時間訊號處理機制

4. 蝙蝠超聲波的聽覺構造大不同

蝙蝠在回聲定位時所使用的超聲波並非單一形式，而是依不同生態需求演化出兩大類型：調頻型（FM）與常頻—調頻型（CF-FM）。調頻型蝙蝠發出的聲波在極短時間內快速變化，每 1 至 5 毫秒就能產生數十種不同的高頻訊號，波長短、訊息量大，多由口中發出，能讓牠們迅速掌握前方物體的方向、距離與細節，因此特別適合在開闊地或森林邊緣活動。臺灣的小翼手亞目中，像是台灣葉鼻蝠與台灣小蹄鼻蝠就屬於此類型。另一類常頻—調頻型蝙蝠則會先發出一段頻率穩定、持續時間較長的常頻（CF）聲波，約 13 至 25 毫秒，訊息較單純，但能利用都卜勒效應偵測飛行中昆蟲的速度；這類蝙蝠的聲波多由鼻孔發出，鼻葉負責調整方向，結束時再補上一段調頻（FM）訊號，用來判斷距離與細節。臺灣的小翼手亞目中，台灣寬耳蝠與寬吻鼠耳蝠屬於此類型，牠們偏好在茂密叢林中活動。

蝙蝠飛行時由喉頭發出探測訊號，再根據回聲的時間差、強度差與頻率差等資訊，判斷物體的距離、大小、速度與方向，解析度極高，宛如自然界的生物雷達。為了了解不同類型蝙蝠在聽覺構造上的差異，吳忠信教授的研究團隊替多種蝙蝠進行 MRI 核磁共振掃描，結果發現常頻—調頻型蝙蝠的耳蝸尺寸明顯大於調頻型蝙蝠，兩者在聽覺中樞的微觀結構也呈現顯著差異。這些結果提供了重要的神經生理學證據，說明不同蝙蝠在回聲定位策略上的差異，與牠們的聽覺構造密切相關。

【吳忠信教授實驗室研究蝙蝠超聲波與聽覺構造大不同的 SCI 期刊論文】

1. Hsiao CJ, .., Wu CH*(吳忠信) (2015) The cochlear size of bats and rodents derived from magnetic resonance images and histology. *Neuroreport* 26(8): 478-482. 【SCI】利用核磁共振圖像和組織學比較蝙蝠和齧齒動物的耳蝸構造。
2. Hsiao CJ, ..., Wu CH*(吳忠信) (2016a) Comparisons of MRI images, and auditory and vocal related protein expressions in the brain of echolocation bats and rodents. *Neuroreport* 27:923-928. 【SCI】迴聲定位蝙蝠和齧齒動物大腦中的核磁共振圖像以及比較聽覺和聲音相關蛋白表達。

5. 蝙蝠其實不瞎

在人們的印象中，蝙蝠住在黑暗的洞穴裡，因此常被誤以為牠們沒有視力，甚至在英文裡還有「as blind as a bat」這句俗諺形容盲目。然而科學研究早已證實，蝙蝠不但看得見，而且牠們的視覺能力在某些方面甚至超越人類，能感受到人眼看不見的紅外光與紫外光。蝙蝠的視覺相當清晰，白天在戶外飛行或在強烈陽光下活動都不會眼花；在微弱月光下，牠們也能依靠視覺正確飛行。大翼手亞目的果實蝙蝠尤其擁有發達的視覺，牠們的大眼睛能辨識色彩，幫助牠們找到成熟的果實。雖然果蝠也是夜行性動物，但牠們的活動高峰多在晨昏，因為在完全無光的深夜裡，視覺難以辨識環境。

小翼手亞目的食蟲蝙蝠則以回聲定位聞名，牠們能發出超音波並利用回聲偵測獵物或障礙物，因此又被稱為回聲定位蝙蝠。長期以來，人們以為這類蝙蝠「沒有眼睛」，其實牠們只是眼睛較小，但視覺功能仍然存在。透過視網膜電圖（ERG）比較不同蝙蝠與實驗室小白鼠的視網膜反應，研究發現台灣葉鼻蝠與台灣小蹄鼻蝠對紫外光與紅外光的反應都比小白鼠更敏感。進一步的免疫組織化學與西方轉漬分析也顯示，這兩種蝙蝠眼球內負責感受紫外光與紅外光的視蛋白含量遠高於小白鼠。

有科學家推測，回聲定位蝙蝠在開闊天空中飛行時，可能利用具「夜視鏡功能」的眼睛偵測紅外光，藉此辨識地形、避開障礙物或找到返回棲地的路徑。此外，研究也發現大翼手亞目中以花蜜為食的蝙蝠，其視網膜具有能感受紫外光的感光細胞，與蜜蜂能看到紫外光的能力相似，使牠們能辨識哪些花朵成熟、含有花蜜。至於為何食蟲蝙蝠也能看到紫外光，有科學家認為這可能是蝙蝠祖先在演化過程中就具備的能力，後代無論是果蝠或回聲定位蝙蝠，都保留了這項對紫外光敏感的視覺特性，而沒有在演化中被淘汰。

【吳忠信教授實驗室研究蝙蝠其實不瞎的 SCI 期刊論文】

1. Wu CH*(吳忠信), .. (2015) Dichromatic visual adaptation in CF/FM echolocation bats. *Jokull Journal* 65(2): 86-98. CF/FM 迴聲定位蝙蝠的雙色視覺適應。

6. 蝙蝠的防凍機制

人體若長時間暴露在極度寒冷的環境中，皮膚與皮下組織往往會因冰晶形成而受損甚至壞死。然而，許多冬眠的洞穴蝙蝠在寒冬時體表溫度會降到接近冰點，身上甚至覆著薄霜，卻依然安然無恙。牠們如何在近乎冰凍的環境中維持生命，是科學家長期關注的重要課題。過去在細菌、真菌、植物、無脊椎動物與魚類體內，人們發現一種能調控冰晶生長的「抗凍蛋白」。這些蛋白能在低溫下穩定冰晶、抑制冰的再結晶，避免小冰晶變成會破壞細胞的大冰晶；它們會吸附在冰晶表面，使冰晶不易繼續生長，並降低凝固點，形成「超冷」現象。然而在哺乳動物身上，科學家至今尚未找到抗凍蛋白的存在，因此蝙蝠是否可能是研究哺乳動物抗凍機制的理想模式，成為新的研究方向。

吳忠信教授的研究團隊曾在阿里山洞穴中觀察到東亞褶翅蝠全身覆霜卻仍存活的現象，顯示牠們可能具備特殊的低溫耐受能力。早期研究指出，小鼠若長時間暴露在酷寒環境，體內耗氧量會大幅增加，代謝加速，細胞內的粒線體必須大量產生能量，伴隨大量自由基（主要為活性氧化物 ROS）的生成。過量的 ROS 會攻擊 DNA、RNA 等生物分子，引發突變與細胞死亡，是低溫造成傷害的重要原因。

為了解蝙蝠是否能避免這種氧化壓力，研究團隊使用 Luminol 與 Lucigenin 試劑檢測台灣葉鼻蝠在室溫與低溫環境下血液中的 ROS 變化。結果顯示，台灣葉鼻蝠在低溫下的 ROS 含量明顯較低，代表牠們可能透過降低自由基產生來避免細胞氧化傷害，從而保護器官與組織。這項發現顯示，蝙蝠的抗寒能力可能並非依靠抗凍蛋白，而是透過調控代謝與減少自由基生成來度過極端低溫，是哺乳動物中極為特殊的生理適應。

【吳忠信教授實驗室研究蝙蝠抗凍機制的 SCI 期刊論文】

1. Lin CL, ..., Wu CH*(吳忠信) (2017) Hypothermic neuroprotections in the brain of an echolocation bat, *Hipposideros terasensis*. *Neuroreport* 28:956–962. (SCI)台灣葉鼻蝠大腦中的低溫神經保護。

7. 蝙蝠幫助人類瞭解神經退化疾病

蝙蝠的生活環境與食物來源，使牠們成為監測環境污染的天然指標。吳忠信教授研究團隊分析臺灣多種蝙蝠的糞便（中藥稱「夜明砂」）後發現，其中累積了多種環境重金屬、農藥與殺蟲劑，這些毒物主要來自蝙蝠捕食的昆蟲與飲水。當這些污染物在蝙蝠體內長期累積，會造成腦部神經元發炎與凋亡，尤其是負責迴聲定位與記憶學習的神經區域受到影響。研究顯示，臺灣蝙蝠糞便中的污染物含量普遍超標，可能導致蝙蝠海馬迴（hippocampus）與內嗅皮質（entorhinal cortex）神經細胞大量凋亡，而這兩個腦區正是動物用來定位、導航與記憶的重要中心。

2014 年諾貝爾生理醫學獎揭示人類大腦具有「內建導航系統」，海馬迴中的位置細胞（place cells）負責定位，內嗅皮質中的網格細胞（grid cells）負責導航。阿茲海默氏症患者在疾病初期，這兩個腦區最先受損，因此容易迷路、喪失記憶。巧合的是，蝙蝠的大腦也擁有類似的定位細胞。研究人員監測蝙蝠海馬體神經元時發現，約三分之一的神經元會在蝙蝠飛過特定位置時興奮，部分細胞甚至能偵測目標物的角度與距離，並維持對目標的記憶。一旦這些定位細胞受損，蝙蝠就會失去方向判斷能力與記憶力，與阿茲海默症的症狀相似。蝙蝠在陌生環境中飛行時，會利用超音波探索周遭並迅速記住環境，形成固定的飛行路徑。吳教授因此半開玩笑地說：「古代醫生用蝙蝠糞便治眼疾；但現在如果讓人吃夜明砂，恐怕會變成阿茲海默症。」

除了阿茲海默症，蝙蝠也被用來研究另一種神經退化疾病——巴金森氏症。巴金森氏症的核心病變是中腦黑質的多巴胺神經細胞退化，當細胞死亡超過 50% 時，患者會出現顫抖、僵直與動作緩慢等症狀。過去常用 MPTP 處理的小鼠或大鼠作為模式動物，但吳教授研究團隊嘗試以迴聲定位蝙蝠建立新的模式。研究發現，MPTP 處理後的蝙蝠在聲音、聽覺、定向與空間記憶方面都出現明顯缺陷，與巴金森氏症的症狀高度一致。免疫組織化學與蛋白質印跡分析顯示，這些蝙蝠在中腦上丘與聲音相關的 FOXP2、下丘與聽覺相關的 otoferlin，以及黑質中多巴胺合成相關酵素的表現量都受到影響，顯示蝙蝠確實能呈現與巴金森氏症相似的神經退化特徵。這些研究不僅揭示環境污染對蝙蝠的危害，也顯示蝙蝠的大腦結構與人類有驚人的相似之處，使牠們成為研究神經退化疾病的重要新模式動物。

【吳忠信教授實驗室研究蝙蝠幫助人類瞭解阿茲海默氏症的 SCI 期刊論文】

1. Hsiao CJ, .., Wu CH*(吳忠信) (2016) Imidacloprid toxicity impairs spatial memory of echolocation bats via neural apoptosis in hippocampal CA1 and medial entorhinal cortex areas. *Neuroreport* 27(6): 462-468. (SCI) 損害蝙蝠海馬迴和內側內嗅皮層區域神經會引起迴聲定位空間記憶錯亂。
1. Wu WJ,..., Wu CH*(吳忠信) (2021) MPTP toxicity causes vocal, auditory, orientation, and movement defects in the echolocation bat. *Neuroreport* 32:125-134 (SCI) MPTP 毒性誘發類巴金森氏症會導致迴聲定位蝙蝠的聲音、聽覺、定向和運動缺陷。

8. 環境農藥重金屬導致蝙蝠迷航

蝙蝠在自然界中扮演重要的害蟲控制者，但牠們也因此成為環境污染最直接的受害者。研究顯示，農藥益達胺是一種會嚴重干擾昆蟲神經系統的化學物質，蜜蜂若接觸到益達胺，會失去記憶與導航能力，找不到回巢的路。益達胺在環境中的半衰期長達 228 天，不易分解，昆蟲吃下含農藥的植物後，農藥會長時間留在體內。食蟲蝙蝠一晚能吃掉數百到上千隻昆蟲，等於同時攝入大量累積的益達胺，當農藥在蝙蝠體內累積到一定程度，就會開始傷害牠們的腦部神經元，影響記憶、學習與回聲定位能力。

除了農藥，環境中的重金屬也會透過食物、飲水或空氣進入生物體內。重金屬不像一般毒素能被肝臟代謝排出，而是容易累積在大腦、腎臟等器官，造成長期損害。鉛與錳過量會引發類巴金森氏症的神經退化；鎘污染會造成骨骼軟化、腎衰竭，甚至引發「痛痛病」；砷則可能造成末梢壞死與「烏腳病」。這些案例都顯示重金屬對生物健康的危害極為深遠。

吳忠信教授研究團隊在田野調查中採集台灣北、中、南、東各地蝙蝠的糞便（夜明砂），並以 ICP-MS 分析重金屬含量。結果顯示北部蝙蝠糞便含有超量的鉛、汞、鉻、鎘、銅、錳；中南部則以砷、銅、錳為主；東部則主要是錳。此外，中南部蝙蝠糞便也檢測到益達胺的累積。污染來源與各地環境特性一致：北部以工業與交通排放為主，中南部則以農業污染為主。由於蝙蝠會在環境中自由飛行與覓食，牠們的糞便成為反映當地環境污染程度的天然指標。

為了了解污染物如何影響蝙蝠的飛行與回聲定位，研究團隊設計了一款僅 5 公克的「蝙蝠飛行軌跡分析儀」，結合角度與加速度感測器與 LED 燈，能將蝙蝠飛行時的動態訊號無線傳輸到手機，再由 APP 分析飛行軌跡。搭配黑暗中連續曝光拍攝 LED 光軌，研究人員能精準記錄蝙蝠的飛行路徑。結果發現，當蝙蝠攝食含重金屬錳或益達胺的昆蟲後，原本規律的飛行路徑會變得紊亂，顯示牠們的空間記憶與定向能力受到破壞。

進一步的免疫組織化學與蛋白質分析顯示，污染物會直接損傷蝙蝠的發聲與聽覺神經元。高劑量的錳或益達胺會使中腦中負責發聲的 FOXP2 基因表現下降；負責聽覺訊號轉換的 Otoferlin 也大幅減少；耳蝸中調節高頻聽覺敏感度的

Prestin 蛋白同樣受到抑制。這些基因在人類中也與語言、聽覺與高頻聲辨識密切相關。研究同時發現，污染物會引發蝙蝠腦與耳蝸的發炎反應（TNF- α 上升），並促進細胞凋亡（Cytochrome C、Caspase-12、Caspase-3 增加），最終破壞蝙蝠的回聲定位系統，使牠們迷航、飛行失序，甚至喪失捕食能力。

綜合研究結果可見，當環境遭受工業廢水、農藥或重金屬污染時，蝙蝠會因攝入大量毒物而出現發聲異常、聽覺受損與飛行迷航等現象。蝙蝠不僅是生態系中的重要成員，更是反映環境健康的敏感指標。牠們的迷航與死亡，正提醒我們環境污染已經深刻影響野生動物與人類的共同生活環境。

【吳忠信教授實驗室研究環境農藥重金屬可能導致蝙蝠迷航的 SCI 期刊論文】

1. Wu CH*(吳忠信), .. (2020) Effects of imidacloprid, a neonicotinoid insecticide, on the echolocation system of insectivorous bats. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 163:94-101. (SCI) 吡蟲啉（一種新菸鹼類殺蟲劑）對食蟲蝙蝠迴聲定位系統的影響。
2. Hsiao CJ, ..., Wu CH*(吳忠信) (2016) Imidacloprid toxicity impairs spatial memory of echolocation bats via neural apoptosis in hippocampal CA1 and medial entorhinal cortex areas. *Neuroreport* 27(6): 462-468. (SCI) 吡蟲啉毒性通過損害海馬迴和內側內嗅皮層區域神經引起迴聲定位蝙蝠空間記憶錯亂。

9. 蝙蝠糞便入藥科學真相：抗氧化有效，但重金屬超標

吳忠信教授研究團隊在國際期刊 *Separations* 發表研究，首次以現代科學方法全面檢驗傳統中醫藥材「蝙蝠糞便」(又稱明沙、夜明砂)的真正成分與安全性。夜明砂自《神農本草經》起便被視為具有清熱、明目等功效，《本草綱目》更記載其能改善視力與夜盲症。然而研究結果顯示，古籍的推論可能與科學事實不符。研究團隊分析糞便中的昆蟲殘留物後發現，昆蟲眼睛的含量極低，遠不足以提供維持視力所需的維生素 A。為驗證夜明砂是否真的具有「明目」效果，研究團隊採集台灣兩種常見食蟲蝙蝠的糞便，並以 DPPH 自由基清除測試、LC/MS/MS 液相層析串聯質譜與 ICP-MS 感應耦合電漿質譜進行完整分析。結果顯示蝙蝠糞便確實具有一定的抗氧化能力，能清除自由基，這可能與古籍所描述的視網膜保護效果有些許關聯。然而在維生素檢測中，僅發現極少量的水溶性維生素 B1、B2、B3、B5 與 B6，含量都非常低；脂溶性維生素 A、D、E、K 以及維生素 C 則完全未檢出。研究明確指出，蝙蝠糞便並不具備古籍宣稱的維生素 A 來源，也無法用來治療夜盲症。

更令人擔憂的是重金屬含量。研究團隊利用 ICP-MS 檢測後發現，蝙蝠糞便中的砷 (As) 與汞 (Hg) 含量高於中藥材安全標準，錳 (Mn) 與銅 (Cu) 含量也偏高。若直接作為中藥服用，可能造成毒性風險。研究團隊指出，雖然蝙蝠糞便的抗氧化能力與少量 B 群維生素可能對眼睛健康有些微助益，但其維生素含量遠不足以達到治療效果，而重金屬風險卻遠高於可能的益處。這項研究首次以現代科學方法全面檢驗夜明砂的藥效，結果顯示它確實具有抗氧化能力，但不含維生素 A，且重金屬含量超標，具有明顯健康風險。研究團隊強調，古籍記載具有歷史與文化價值，但在現代醫療體系中，任何藥材都應以科學證據為基礎，避免因迷信傳統療法而造成不必要的健康危害。

【吳忠信教授實驗室研究蝙蝠糞便入藥科學真相的 SCI 期刊論文】

1. Chung KT, ..., Wu CH* (2024) Pharmaceutical Screening of Bat Feces, and Their Applications and Risks in Traditional Chinese Medicine. *Separations* 2024, 11(3): 76.

【SCI】蝙蝠糞便的藥理成分篩檢及其在傳統中醫中的應用與風險

10. 跨國合作開啟臺灣蝙蝠病毒研究

新北市瑞芳蝙蝠洞是東南亞規模最大的東亞摺翅蝠繁殖地，但近十年來蝙蝠數量驟降，減少超過六成，這樣的變化引發學界高度關注。為了解可能的原因，吳忠信教授與日本名古屋大學的本道榮一教授、中興大學獸醫系王孟亮教授及台灣蝙蝠學會合作，進入蝙蝠洞採集糞便，希望建立蝙蝠病毒資料庫，作為未來防疫系統的基礎。研究團隊利用次世代定序技術（NGS）分析糞便中的病毒基因組，結果發現其中含有腦心肌炎病毒、腸道病毒 F 株、兔病毒以及西班牙綿羊腦炎病毒等多種病毒。NGS 能同時解析大量短序列片段，不需經過質體複製，因此能快速且準確地辨識病毒種類。

腦心肌炎病毒在全球廣泛存在，主要宿主是老鼠，感染後通常沒有明顯症狀，但在豬隻身上可能造成繁殖障礙或幼豬高死亡率。這類病毒是否也會影響蝙蝠繁殖或幼蝠存活，仍需進一步研究。腸道病毒 F 株屬於牛腸道病毒，感染範圍涵蓋牛、羊、馬、犬等動物，雖然在台灣的流行報導不多，但可能造成多種臨床症狀。兔病毒則主要感染家兔，可能引發病毒性出血症；西班牙綿羊腦炎病毒則會透過皮下或靜脈途徑感染綿羊，造成嚴重的中樞神經病變。

這些病毒是否與瑞芳蝙蝠洞摺翅蝠族群的下降有關，目前仍沒有定論，但研究顯示蝙蝠糞便攜帶的病毒具有跨物種感染的潛力，可能影響豬、牛、家兔與羊等家畜健康，進而造成畜牧業損失。因此，如何阻斷病毒傳播途徑、建立蝙蝠病毒監測與防疫系統，已成為農政單位亟需重視的課題。

【吳忠信教授實驗室研究臺灣蝙蝠病毒的 SCI 期刊論文】

1. Doysabasa KC,.., Wu CH(吳忠信), et al. (2019) Encephalomyocarditis virus is potentially derived from eastern bent-wing bats living in East Asian countries. *Virus Research* 259: 62–67. 【SCI】腦心肌炎病毒可能源自生活在東亞國家的東亞摺翅蝙蝠。
2. Kimprasit T,.., Wu CH(吳忠信), et al. (2021) Dispersal history of *Miniopterus fuliginosus* bats and their associated viruses in east Asia. *PLoS ONE* 16(1): e0244006. 【SCI】東亞摺翅蝙蝠及其相關病毒的傳播史。

11. 中藥有助於緩解蝙蝠病毒引發的新興疾病

中醫使用藥材治療瘟疫已有兩千多年歷史，台灣在經歷 SARS 的衝擊後，也投入大量研究，希望以科學方式驗證傳統藥材的功效。新冠肺炎（COVID-19）爆發初期，中醫再次受到重視，許多研究開始探討哪些中藥成分具有抗病毒潛力。吳忠信教授指出，許多科學中藥確實含有能抑制病毒的活性成分。例如金銀花能抑制流感病毒與皰疹病毒的複製，減緩病毒造成的細胞病變，並具有抗炎與退熱效果；連翹具有抗微生物、抗炎與解熱作用，臨床上常用於治療感冒、肺炎與急性肝炎；板藍根的萃取物則能破壞出血熱病毒與皰疹病毒，並抑制流感與腮腺炎病毒。

在 SARS 時期，魚腥草因能有效殺死 SARS 病毒而被用於替代治療，目前仍常用於呼吸道感染、支氣管炎與肺炎。柴胡則常用於流行性感冒與病毒性肝炎。中醫中的甘草素也被證實能抑制 HIV、肝炎病毒、腺病毒與牛痘病毒。吳教授的研究發現，綠原酸是一種普遍存在於金銀花、牛蒡、杜仲、咖啡等植物中的抗病毒成分，能抑制多種致病菌與上呼吸道病毒，甚至能阻斷新城雞瘟病毒的感染。

綜合過去研究，科學中藥的抗病毒作用主要來自三大機制：阻止病毒進入宿主細胞、抑制病毒複製，以及調節免疫反應。例如靈芝、甘草、五味子能阻止病毒附著細胞；夏枯草能抑制 HIV 與細胞膜融合；黃芩能抑制病毒聚合酶；丹參、牛蒡與甘草能抑制病毒複製；紅景天能抑制病毒蛋白酶；黃精與魚腥草能調節免疫反應以抑制皰疹病毒；五味子能抑制 B 型肝炎病毒；黃耆則能抑制口蹄疫病毒。

近年中國研究指出「雙黃連」可能抑制新冠病毒，而雙黃連口服液正是由金銀花、黃芩與連翹組成的科學中藥複方，具有抗病毒、抗菌與提升免疫力的效果。印度新冠確診數相對較低，也可能與飲食中常見的薑黃素有關，薑黃素具抗氧化與抗發炎能力，能與病毒結合並降低感染風險。許多中藥的揮發性精油也被證實能抑制呼吸道融合病毒（RSV）與流感病毒。吳教授團隊目前也在研究紅薑萃取物與精油的抗病毒能力，初步結果顯示其具有強大的抗發炎與抗氧化效果，具備發展為抗病毒產品的潛力。

吳教授認為，科學中藥富含黃酮類、萜類、多酚類、多醣體等多種抗病毒成分，能透過增強免疫力、降低發炎、減少氧化壓力與防止細胞凋亡等多重途徑來預防病毒感染。由於成分多元，病毒較難產生抗藥性；與現代抗病毒藥物併用時，也

能降低藥物劑量與副作用，提升治療效果。因此科學中藥在病毒感染疾病的防治上具有明顯優勢，也值得投入更多研究。

在全球 COVID-19 疫情期間，中醫藥研究所與三軍總醫院共同研發的中藥複方「臺灣清冠一號」展現良好臨床效果，受到國內外高度關注。順天堂藥廠技轉後推出的「RespireAid 臺灣清冠一號濃縮顆粒」也獲得衛福部核發外銷許可，讓台灣的漢方研究成果走向歐、美、非洲等國際市場。

【吳忠信教授實驗室研究科學中藥有助於緩解蝙蝠病毒疾病的 SCI 期刊論文】

1. Wang CH, .., Wu CH(吳忠信)* (2021) Chinese herbal medicine Guizhi Li-Zhong Tang formula as an alternative antibiotic feed additives for alleviating pneumonia in piglets via antioxidant, anti-inflammatory, and anti-apoptotic protection. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine Volume 2021, Article ID 4978783, <https://doi.org/10.1155/2021/4978783> (SCI) 中草藥桂枝理中湯配方通過抗氧化、抗炎和抗凋亡保護減輕肺炎。
2. Lu CW, .., Wu CH(吳忠信)* (2021) Alternative antibiotic feed additives alleviate pneumonia with inhibiting ACE-2 expression in the respiratory system of piglets. Food Science & Nutrition 9:1112–1120. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2089> (SCI) 中草藥桂枝理中湯配方透過抑制仔豬呼吸系統中 ACE-2 表現以減緩肺炎