

陰暗行者的光亮未來——德國蟑螂的研究系統

■ 黃佳欣、李後晶

後基因體時代，對於內分泌學的研究更往分子層次發展。由於往昔的研究讓德國蟑螂有豐富的背景資料，因此可以預見這個物種很可能成為昆蟲內分泌學研究的另一個明日之星。

居家蟑螂中有一種體型較小的德國蟑螂，成蟲的體長介於 1.3 ~ 1.6 公分之間，身體呈棕色，頭部後方有兩條平行的黑色條紋延伸到翅膀基部，這是很容易與其他居家蟑螂區分的特徵之一。

德國蟑螂是目前居家種類中最占優勢的蟑螂，喜好潮溼溫暖的環境，具趨觸性而常棲息在縫隙狹窄的空間，排泄物中含有一種聚集費洛蒙而性喜群聚生活。牠的生殖力很高，可在短時間內產生許多子代擴張族群而取得優勢。



內分泌學研究

昆蟲具有外骨骼，生長過程中需要經歷蛻皮甚至變態的過程，而蛻皮激素與青春激素是主要的調控因子。前者是引發昆蟲蛻皮與變態過程的主要角色，後者則是讓昆蟲維持在幼蟲階段而不會進入成蟲期。

荷爾蒙（又稱激素）是由無管腺體分泌，釋放到血液循環系統中，再運送至標的器官，引發特異生理功能的微量化學物質，具有控制生長、新陳代謝、訊息傳遞等功能。內分泌系統的調節在生物維持正常的功能上扮演舉足輕重的角色，在內分泌系統的研究中，鑑定荷爾蒙的種類以及記錄荷爾蒙在生物體內不同時期的濃度變化，是最主要的前導性工作。藉由記

錄荷爾蒙的濃度變化得以間接地推敲其出現的生物性意義，做為荷爾蒙功能研究的基礎。

以德國蟑螂為模式系統探討昆蟲內分泌學，已經有超過 30 年的歷史，早期的研究採用扎實的傳統方法，包括測量荷爾蒙濃度、給予不同濃度的荷爾蒙或類似物、移除產生荷爾蒙的腺體等，逐一驗證各種荷爾蒙在昆蟲生理或行為上的功能。

德國蟑螂體內的蛻皮激素與青春激素兩大荷爾蒙，已經由西班牙的貝耶思（Xavier Bellés）團隊經過十幾年的努力，詳實地觀察及記錄從卵、若蟲到成蟲各階段的濃度變化，為德國蟑螂做為昆蟲內分泌學的模式系統建立了良好的基礎。

早期許多昆蟲學家對於德國蟑螂雌成蟲的生殖生理感到興趣，因為牠們的生殖策略實屬特別，交尾的雌蟲產下卵鞘後會持續攜帶一段時間直到若蟲孵化，而且攜帶卵鞘期間，卵巢的發育會受到抑制，因此也稱作懷孕期，這種生殖方式是介於卵胎生與胎生之間。另外，卵巢發育的過程受到多種內在與外在環境因子影響，例如食物的供給、群聚生活等，讓昆蟲學家更想了解是哪些因子參與調控的角色。

青春激素是調控德國蟑螂雌成蟲生殖的主要荷爾蒙，剛羽化後的雌蟑螂體內會開始製作大量的青春激素，且釋放到血淋巴中的濃度會隨日齡而增加。青春激素的主要功能是促使脂肪體開始製作卵黃素供給卵巢發育，同時造成雌蟑螂的呼喚行為與性費洛蒙的釋放，也參與活動行為的掩蓋效應。但缺乏食物或攜帶卵鞘的懷孕雌蟲反而會抑制青春激素的製造，使卵巢停止發育。



剛孵化的 1 齡若蟲（上）和雄性成蟲（下）。



攜帶著卵鞘的德國蟑螂雌蟲



剛羽化的德國蟑螂身體呈白色，經常讓人誤以為是「白子」蟑螂，但不久後會漸漸轉變為棕色。



獲得成千上萬的遺傳密碼並不能夠了解生命的運作，需要進一步探究基因與基因間的相互關係所形成的訊息功能網路，才能夠一窺生命的奧秘。

後基因體時代，對於內分泌學的研究更往分子層次發展。由於往昔研究讓德國蟑螂有豐富的背景資料，可以預見這個物種很可能成為昆蟲內分泌學研究的另一個明日之星。

基因功能的研究

2001 年發表了人類基因組序列草稿，幾近完整的基因組序列也於 2003 年完成。基因組的解序工作除了能夠幫助人類醫療健康的發展外，也使定序技術不斷進步。目前定序基因遺傳密碼的技術已臻成熟，加上近年來次世代定序技術的蓬勃發展，與初期人類基因體計畫耗費 10 年時間的定序工作相較，次世代定序技術僅需要 1 天的時間就能夠達到。

然而，獲得成千上萬的遺傳密碼並不能夠了解生命的運作，需要進一步探究基因與基因間的相互關係所形成的訊息功能網路，才能夠一窺生命的奧秘。「功能性基因體學」因而發展成一股新的研究主流，也成為當前生命科學研究的最大挑戰。

核糖核酸干擾 (RNA interference, RNAi) 是近十幾年來一項新興且有效的逆向遺傳研究技術，透過 RNAi 的應用，可專一性地降解任何信使核糖核酸 (messenger ribonucleic acid, mRNA)，或使其無法進行蛋白質轉譯，造成基因靜默的效應，因此

可以做為研究基因功能的工具。RNAi 機制的先鋒研究者法爾 (Andrew Fire) 與梅洛 (Craig Mello) 共同獲得 2006 年的諾貝爾生醫獎，足以肯定這項技術對於近代生命科學研究所帶來的貢獻。

RNAi 在德國蟑螂上的應用

RNAi 在基因靜默方面具有高效性和簡單性，普遍應用在許多非模式物種昆蟲的基因功能研究上。其中，德國蟑螂對於 RNAi 的感受性很高，實驗操作十分容易，透過直接注射經選殖出特定基因片段的微量雙股 RNA 到蟑螂體內，幾天之後，可以在活體狀態下觀察標的基因表現受到靜默後有哪些不正常的表現型發生，以檢驗這個基因的功能。近 5 年來，RNAi 技術已經成功地解開德國蟑螂超過 20 個新穎基因的功能，從分子訊息傳遞、生理到行為各個層面都有斬獲。

在行為層次上，例如無果基因對於雄蟑螂求偶時的舉翅行為有決定性的功能，當這基因在末齡若蟲時期受到 RNAi 的靜默作用時，羽化的雄成蟲會對雌蟲興趣缺缺而不願意展現求偶行為。無果基因已經在果蠅上證實能促使性別專一的求偶行為的神經迴路發展，這項在德國蟑螂上的研究則意味著無果基因在昆蟲中的功能相當保守。

絕大部分的生物體內都有一個日周時

鐘系統，除了能自行產生節律性外，還能跟所處環境的時間對時，讓生物的生理與活動行為配合白日與黑夜的周期變化。

若使德國蟑螂日周時鐘系統裡的一個輸出訊息的基因—色素擴散因子—靜默，原本表現晝伏夜出習性的蟑螂雄成蟲，在基因受到抑制後，儘管大腦的內在時鐘持續運作，但活動行為失去原先的規律性，整天都有活動行為。這提供進一步深入剖析其他時鐘基因對於蟑螂內在日周時鐘及行為表現的研究方向。而且，生物時鐘系統在跨物種之間具有保守性，這些分子層次的研究有機會應用在人類身上。

昆蟲的變態過程一直是讓人感到驚奇的生命現象，尤其完全變態的昆蟲，像毛毛蟲轉化成蝴蝶的改變總是令人嘖嘖稱奇。但昆蟲變態的演化機制仍然是個尚待開發的領域，昆蟲學家普遍認為完全變態的昆蟲是從不完全變態的昆蟲逐漸演化出來的。因此，想了解昆蟲變態的演化，研究較原始的不完全變態昆蟲如何進行變態的過程，也許可以提供重要的訊息。

蟑螂在地球上的出現可以追溯到 3 億年以前，而且外觀跟現在沒有太大的差異，表示現存的蟑螂可能依然沿用相同的生理調控機制進行變態。貝耶思對德國蟑螂變態的過程相當感興趣，近幾年利用 RNAi 的技術，針對蛻皮激素與青春激素的下游基

因群進行功能性的實驗，配合早先建立的荷爾蒙濃度變化資料，進一步把荷爾蒙調控昆蟲變態過程推向分子機制層次的探討。

德國蟑螂研究的未來可期

儘管德國蟑螂的基因組序列尚未解序，但透過最近的次世代定序技術得以快速準確地建立基因轉錄組的資訊，包含細胞裡 RNA 的序列資料，為基因功能性研究提供絕佳的幫助。

往昔以德國蟑螂為模式系統建立許多昆蟲生理學的基礎研究，尤其在內分泌學上的進展，再配合近年來基因轉錄組提供龐大的資訊輔助，德國蟑螂在昆蟲學的研究領域具有很大的潛力。

黃佳欣、李後晶
臺灣大學昆蟲學系

