

昆蟲蛻變的原動力—激素的奧祕

文·圖／顧世紅

摘要

就完全變態類昆蟲而言，幾丁質的外表皮使其在生長過程中產生非連續性—即有蛻皮過程的發生，而通過蛹這一發育階段來完成整個生活史，使其在生命過程中有一高效率地分工協調，幼蟲是取食與生長的機器，而成蟲則擔任尋找棲息地及繁殖後代的重任。昆蟲的生長與發育、蛻皮與變態是昆蟲成功適應大自然的重要方式，對其生理機制的探討有助於充分理解昆蟲成功適應地球環境變遷之演化機制。早在近一個世紀之前，昆蟲學家就已經發現，昆蟲腦內所釋放的化學因子即激素調控幼蟲變態成蛹的發育過程，之後的研究顯示，腦激素通過激活幼蟲胸部的前胸腺，發揮其刺激作用，當前胸腺被激活後，快速分泌蛻皮激素，最終誘導蛻皮與變態。筆者自 20 多年前開始研究昆蟲激素之分泌機制，發現昆蟲雖小，但體內各種不同的激素與激素之間，激素與訊息分子以及訊息分子相互之間構成一個環環相扣的體內平衡體系。數十年來對昆蟲內分泌的研究就如同在解一連串的謎語般，一個接著一個，每一個答案不僅讓我們進一步了解發育蛻變的機制，同時也帶來更多的問題，啟發我們持續不斷的探討。在此領域的深入探討使我們在科博館所取得的研究成果不讓外國學者專美於前，同時也算是對我們繼續進行研究的一大鼓勵。

關鍵詞：昆蟲、蛻皮與變態、激素、訊息傳遞、生理機制

昆蟲成功適應地球環境變遷的方式—蛻皮與變態

早在 35 億年前地球上就已出現生命現象，近 12 億年前的今天出現多細胞生物，昆蟲自古生代(Palcozail)之泥盆紀(Devonian)登陸地球以來，至今已有近 3 億 5 千萬年的歷史。地球環境之改變可以說是千變萬化，可是昆蟲卻都能很好地適應地球環境之變遷。地球上的每一個角落幾乎都有昆蟲的蹤影，不但如此，目前昆蟲的種類已達一百多萬種，占整個動物種類的四分之三以上。在此意義上來說，我們所居住的地球原來是昆蟲的星球，一點也不為過（圖 1、2）。那麼，我們不禁要問，昆蟲為何能成功立足於地球，適應地球環境之變遷呢？科學家們一般認為，昆蟲通過蛻皮與變態來完成整個生命週期是其成功適應地球環境變遷的重要方式之一，經由幾丁質成份極高的外表皮包裹整個身體，使其能適應陸地的生活，防止體內水份的蒸發，同時，使其生長產生非連續性—即有蛻皮過程的發生，而變態過程的產生使昆蟲在幼蟲期專注於取食與生長，在成蟲期則擔負起繁殖後代的重任。幼蟲之食物的攝取促進了體內組織細胞的生長，當其生長量達到某一程度時，幼蟲就必須更換新的更大的表皮，以滿足體內組織細胞進一步生長的需求（圖 3），這就形成了蛻皮的過程，當幼蟲經過多次蛻皮後，必須進行體內組織器官的改組，進行變態（圖 4），以形成成蟲的組織器官。變態的過程短暫又神祕，自古以來就吸引了許多科學家試圖探討變態的機制。



圖1. 蝗蟲為不完全變態類昆蟲



圖2. 昆蟲的數目驚人，圖為蝗蟲過境時引發蝗災之情景。



圖3. 剛蛻皮的家蠶之5齡幼蟲表皮寬鬆，可容許體內組織的不斷生長。



圖4. 蛹期為完全變態類昆蟲從幼蟲到成蟲的過渡期，圖為蒼蠅之蛹。

昆蟲激素研究的開始

早在近 100 年前，波蘭的一位名叫 Kopec 的昆蟲學家就已經發現，蛾類幼蟲變態成蛹的發育過程由腦內所釋放的化學因子所控制，Kopec 利用舞毒蛾 *Lymantria dispar* 的末齡幼蟲，進行了一系列結紮實驗，通過幼蟲的胸腹部結紮，阻止其體液的交流（由於昆蟲的各個體節都有氣門，胸腹部結紮對呼吸沒有很大的妨礙；並且各體節都有神經節，結紮以後，沒有頭部的胸腹部照樣能夠生存）。結果發現：5 齡早期的幼蟲胸腹部結紮後不能化蛹，但老齡幼蟲結紮後，頭胸部及腹部都能化蛹（結紮時已釋放腦激素）；在 5 齡中期結紮，頭胸部化蛹，但腹部未化蛹（結紮後才釋放腦激素，但所分泌之激素不能從頭胸部流至腹部）。接著，又進行了一系列結紮幼蟲之腦和其他器官的移植實驗，證明了腦所分泌的激素控制了昆蟲的變態。儘管他的研究結果在當時沒有受到很大的重視，但是在之後的幾十年中，科學家們終於通過試驗，確認 Kopec 的研究揭開了昆蟲乃至於整個動物內分泌研究的序幕。

腦所分泌的促前胸腺激素與蛻皮激素

腦激素是由 Kopec 命名的，之後的研究又發現從腦中可分泌出許多種不同的激素，因此將促進變態的腦激素稱為促前胸腺激素。在 80 年代的末期，日本學者通過好幾代研究者的努力，終於揭開了促前胸腺激素之神秘面紗，促前胸腺激素為一個由 218 個氨基酸所組成的，分子量約為 30,000 道爾頓左右的蛋白質分子，其功能在於刺激前胸部的一對稱為前胸腺的器官，使其分泌一種稱為蛻皮激素的類固醇物質，從而引起昆蟲的蛻皮與變態。蛻皮激素由德國學者 Butenandt 及 Karlson 教授在 1954 年從 50 萬隻雌蠶蛾中萃取出，並鑑定出它的化學結構。

促前胸腺激素通過訊息傳遞發揮作用

促前胸腺激素從腦細胞分泌後，如何刺激前胸腺細胞呢？原來，促前胸腺激素發揮作用時通過一個稱為訊息傳遞（圖 5）的過程，使前胸腺細胞分泌蛻皮激素，那麼什麼是訊息傳遞呢？

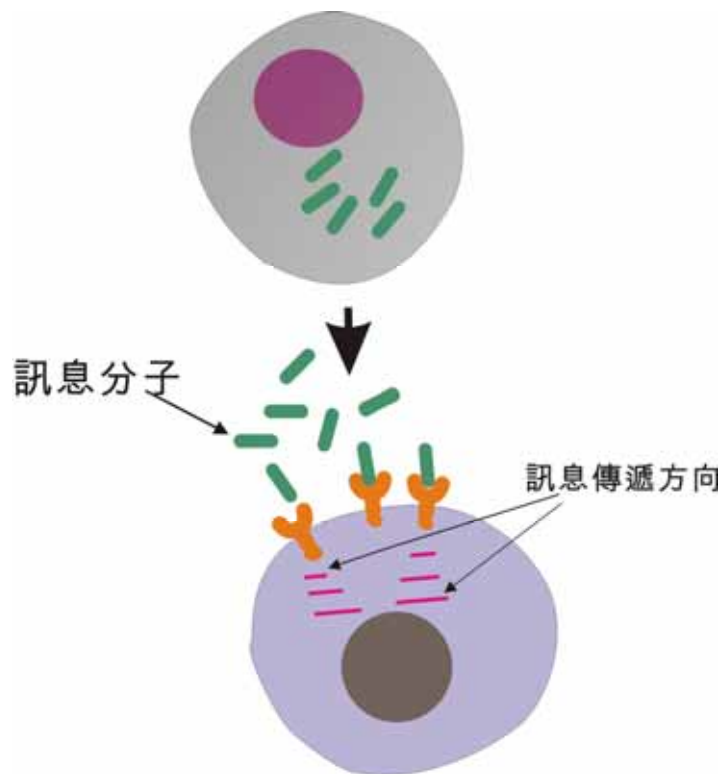


圖5. 細胞內訊息傳遞之模式圖。

構成生物體的基本單元為細胞，細胞的最外層為雙層磷脂分子組成的細胞膜，生物體內各組織細胞之正常運作依賴於細胞與細胞間的密切連絡。因此，細胞膜上有許多特殊的分子，負責接收細胞外不同的訊息，如生長因子及激素等，我們通常稱這一類的分子為受體，受體分子的構造很特別，為長長的蛋白質分子鏈，一端露在細胞外，中間穿過細胞膜，另一端深入細胞內，細胞膜外的那一端專門負責偵測細胞外的訊息，偵測完畢後，細胞膜內的一端則向細胞內部放出生化訊息。因此當受體接收外界的訊息後，將之轉換成細胞內部的調節語言，讓細胞內部知道外在的訊息而作出某些特殊的反應。我們將這樣一個將細胞外的訊息，經過一系列的生化反應後，活化細胞內部的訊息，進而使細胞產生生理反應的過程稱為訊息傳遞。

促前胸腺激素為蛋白質類激素，其發揮作用時首先與前胸腺細胞膜上的受體相結合，2010年美國科學家 O'Connor 等人在 Science 發表文章，報導了促前胸腺激素受體為酪氨酸激酶受體型，受體激活後將一系列訊息分子傳遞到細胞核內。

昆蟲體內錯綜複雜的訊息傳遞網路

筆者於 26 年前開始踏入研究昆蟲激素之領域，在這之前在日本攻讀碩士學位時曾經對昆蟲激素感興趣，但經過近半年的查閱文獻，始終難以找到切入點而放棄。1986 年攻讀博士學位時，因探討家蠶發育的一突變種而找到研究切入點，剛開始時探討蛻皮激素對家蠶發育過程中的變化，之後研究蛻皮激素與昆蟲另一激素（即青春激素）的相互關係，發現蛻皮激素的些微變化可影響到青春激素的

濃度，從而改變昆蟲的生長與發育，而家蠶由幼蟲蛻變為蛹是經由低濃度蛻皮激素導致青春激素下降所引起（圖 6）。

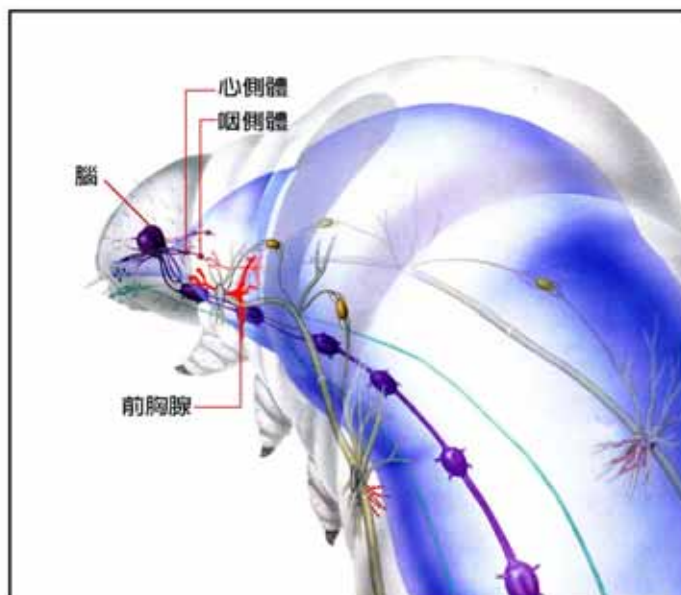


圖 6. 家蠶雖小，但激素及訊息傳遞網路錯綜複雜，圖為家蠶內分泌器官模式圖。

近年來筆者則將研究重心轉移到前胸腺細胞之訊息傳遞的探討，我們的研究顯示，促前胸腺激素刺激前胸腺細胞時，活化了一系列重要的訊息分子，包括鈣離子、cAMP 及數十種蛋白激酶之活性，構成一錯綜複雜的細胞內訊息傳遞網路，而該訊息傳遞網路又受體內其他激素影響。昆蟲體內各種不同的激素與激素之間，激素與訊息分子以及訊息分子相互之間構成一環環相扣的體內平衡體系。數十年來筆者對昆蟲內分泌的研究就如同在解一連串的謎語般，一個接著一個，每一個答案不僅讓我們更深入了解發育蛻變的機制，同時也帶來更多的問題。2012年由美國學者 Gilbert 所主編的《昆蟲內分泌學》共引用我們在國際學術期刊所發表的 SCI 論文達 19 篇，十分詳細地描述了我們在科博館所進行的在此領域的研究工作，這也是國人首次在昆蟲內分泌學領域不讓外國學者專美於前的一個例子，同時也算是對我們繼續進行研究的一大鼓勵吧！