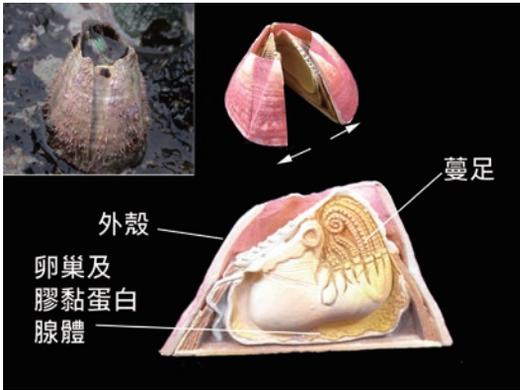


世上最強之水下膠水：解密藤壺的膠黏蛋白

陳國勤

在大眾的心目中，藤壺是像火山般的海洋生物，牠們牢牢地黏在海邊的岩石上。對！藤壺是固著型的甲殼類動物，其大部份的品種有像火山般的殼。成年的藤壺不能游動且殼底可滲出強力的生物膠水，使其黏在岩石上。藤壺的生物膠水是一種蛋白質的複合物，我們稱之為藤壺膠黏蛋白。多年來，科學家一直對藤壺膠黏蛋白有很濃厚的興趣。試想，潮間帶的藤壺經常生長在浪大的位置，以利牠們捕食浮游生物。在大浪沖刷下，藤壺仍堅固地附著在岩石上。這證明藤壺膠黏蛋白是水下最強的膠水之一。這種特殊蛋白將來若能被人工製造，或許可為人類的生活及發展帶來很大的貢獻。本篇文章將給讀者介紹藤壺是什麼生物、牠們如何分泌膠黏蛋白、及現今我們對藤壺膠黏蛋白的了解。

藤壺的型態可分為兩大類：外殼像火山般的無柄藤壺及外型如茗荷或鵝頸的有柄藤壺。不論是有柄或無柄，藤壺的身體皆藏在殼內並擁有六對蔓足。藤壺的卵巢位於其身體的底部，卵巢內有腺體會分泌膠黏蛋白，這些蛋白經



圖一、藤壺是固著型的甲殼類動物，大部份的品種有像火山般的殼且無法移動。藤壺的卵巢位於其身體的底部，卵巢中有膠黏蛋白腺體可分泌膠黏蛋白並被運送到殼底。藤壺的殼底會滲出生物膠水使其黏在岩石上。

管道被運送至殼底使其具有黏性（圖一、圖二）。

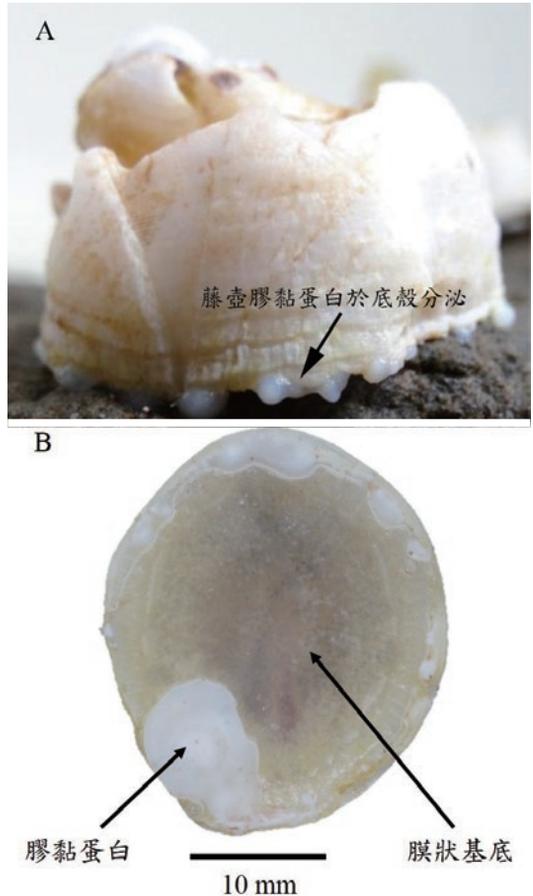
於1996~2000年間，日本神野教授（Prof. Kei Kamino）以不同的有機液體溶解潮間帶紅巨藤壺的膠黏蛋白，再以蛋白質膠體電泳進行純化並分析蛋白質的組成。神野教授的團隊一共分析出5種膠黏蛋白，並以分子重量來命名：分別為

CP19K、CP20K、CP52K、CP68K、和CP100K（CP：代表膠黏蛋白的英文簡稱Cement protein，數字代表其分子量）（Kamino et al. 2000）。他們也發現不同的膠黏蛋白具有不同的性質和功能。例如：CP19K和CP68K具有疏水性，它們能排除膠黏蛋白和基底接觸面之間的結合水層，以利膠黏蛋白黏於基底。CP20K有介面黏附功能。CP52K和CP100K為大分子非水溶性膠黏蛋白，可增加膠黏蛋白的凝聚力。

藤壺的基部可分為鈣質基部和膜質基部。上述這五種膠黏蛋白都出現在所有藤壺科物種的鈣質基部。我們是全球首次使用轉錄組方法檢查笠藤壺膜質基部膠黏蛋白基因表現的研究團隊。我們在笠藤壺中僅發現CP19K、CP52K

、和CP100K膠黏蛋白。這三種膠黏蛋白的基因僅在藤壺基部區域的組織中表現，此證據支持膠黏蛋白是在藤壺基部區域的膠黏蛋白腺體所分泌（Lin et al. 2014）。

藤壺在海洋環境中無所不在，牠們的蹤影遍及潮間帶、珊瑚礁、淺海、深海、以及其他海洋生物上，例如：海龜與鯨魚身上。我的研究團隊想進一步探討的問題是：來自不同棲息地的藤壺是否有不一樣的膠黏蛋白？我們採樣了12種藤壺，包括生長在岩石海岸、珊瑚、火珊瑚、海龜、鯨魚、和海綿上的物種，並以轉錄組學方法分析上述五種膠黏蛋白的基因表現（圖三）。我們的結果顯示膠黏蛋白在不同基質和棲息地的藤壺之間具有不同的組成。有些藤壺的某種膠黏蛋白



圖二、A：龜藤壺的側面圖。龜藤壺從宿主的殼上移除後，其底部會滲出膠黏蛋白。B：龜藤壺移植致壓克力膠片後，從底部可觀察到膠黏蛋白。

現（圖三）。我們的結果顯示膠黏蛋白在不同基質和棲息地的藤壺之間具有不同的組成。有些藤壺的某種膠黏蛋白

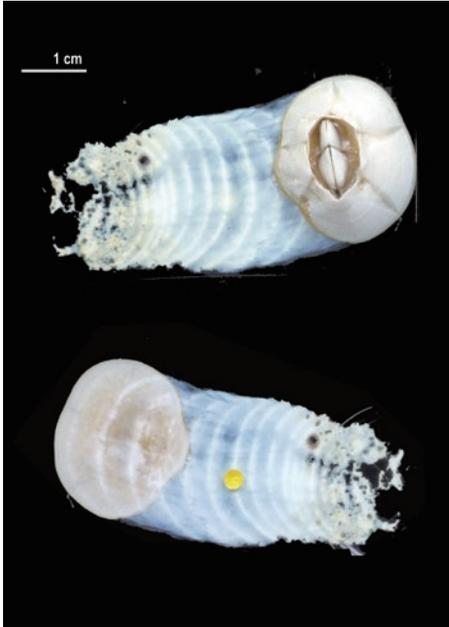


圖三、藤壺在海洋環境中無所不在，牠們可居住在(A)潮間帶的岩石上（馬來小藤壺）、(B)與珊瑚共生（離板藤壺）、(C)與火珊瑚共生（孔寬楯藤壺）、(D)海龜身上（龜藤壺）、(E)浮木上（茗荷）、及(F)與海綿共生（綿藤壺）。不同棲息地的藤壺是否擁有不一樣的膠黏蛋白組合？

發生過基因複製而演化出旁系同源體（paralogues）。相對於其他種藤壺，與珊瑚及海綿共生的藤壺則有較少種類的膠黏蛋白。在與海綿共生的藤壺中，我們僅偵測到CP68K的基因表現。而在與珊瑚共生的藤壺中，卻完全沒有發現上述五種膠黏蛋白的基因表現，這可能是此類藤壺生活在珊瑚骨骼內部，不需要使用膠黏蛋白來附著。我們的結論是：藤壺膠黏蛋白的演化如同調雞尾酒般，根據不同棲息地的特性調適出不同組合的膠黏蛋白，並以基因複製的方式演化出旁系同源體，這使膠黏蛋白具有多樣性的化學和生化特性，並幫助藤壺適應多種基質和棲息地（Lin et al. 2021）。

一直以來，我們都相信成年的藤壺是以膠黏蛋白永久附著在基質上。但在最近，我們卻發現生長在海龜上的龜藤壺（*Chelonibia testudinaria*）已演化出自我定向活動的能力！我們在實驗室觀察到綠海龜身上的龜藤壺每年可移動約78.6公厘。在室內水族箱實驗室的環境下，龜藤壺在壓克力面板上可逆流走動並能轉變方向高達90度。我們觀察到龜藤壺移動時會留下一條有多層及間斷的膠黏蛋白痕跡（圖四）。我們推測龜藤壺在移動時，會主動溶解已凝固的膠黏蛋白以便在基質上面滑動，之後再分泌新的膠黏蛋白而固定在新的位置上（Chan et al. 2021）。這種可溶解的膠黏也許含有很多未知的膠黏蛋白種類。我們將進一步研究龜藤壺幼體及成體的膠黏蛋白種類及演化機制。

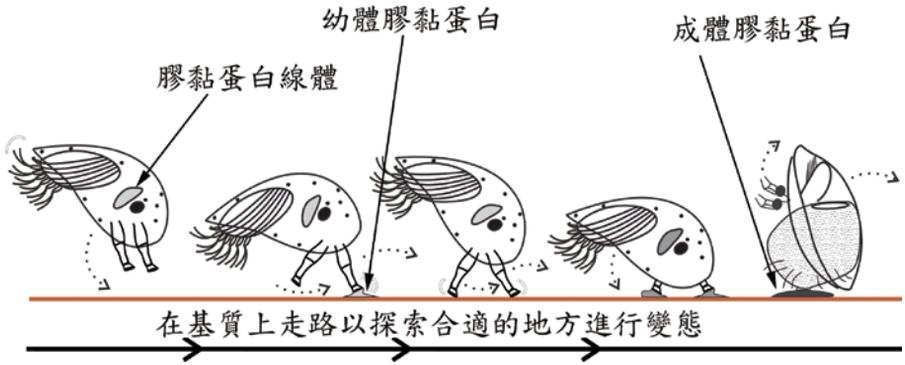
藤壺腺介幼體為浮游性且長有一對觸手，使其可在基



圖四、龜藤壺在壓克力面板上走動並留下一條有多層及間斷的膠黏蛋白痕跡。上：從正面觀察；下：從底部觀察。

質上走路並尋找合適的地點進行變態及成長。藤壺幼體也擁有一對微小的膠黏蛋白腺體，可將膠黏蛋白釋放於其觸手的末端，以利幼體在走路時可臨時黏在地基上及進行多變態（圖五）。膠黏蛋白在藤壺的不同生命週期間是否有不同的成份或結構？我們以顯微技術解剖生長在海龜殼上的龜藤壺幼體及成體之膠黏蛋白腺體，並首次以結合轉錄組、免疫組織化學、及散彈式蛋白質體的分析方法，研究膠黏蛋白的結構與相關的基因。我們分離出30個成體及27個幼體的膠黏蛋白，並發現大部份幼體及成體

有不同的膠黏蛋白，只有SIPC（誘導幼體附著蛋白複合物；Settlement inducing protein complex）及CP100K膠黏蛋白在幼體及成體中都有出現，此外，CP52K蛋白於幼體及成體中有多個旁系同源體。我們的結果進一步揭示幼體及成體的膠黏蛋白為各自獨立演化，其演化的機制包含：基因選配（Gene co-option）、基因重組、基因複製、及隨後的功能性分歧，因而產生出不同結構的膠黏蛋白（Wong et



圖五、藤壺幼體有一對微小的膠黏蛋白線體，釋放膠黏蛋白於觸手末端，以利幼體走路時可臨時黏在地基上及進行多變態。

al. 2023)。

研究藤壺膠黏蛋白具有十分高的應用性。在2021年，美國麻省理工學院的研究團隊仿效藤壺膠黏蛋白的疏水性功能及其可去除表面結合水層的特性，成功研發在油料中嵌入微塑膠粒以提高其疏水性，這項技術能應用在外科手術，把疏水性的油料滴在流血的傷口上，即可排走血液，並能於15秒內在傷口上凝固而達到止血的效用 (Yuk et al. 2021)。這項研究在藤壺膠黏蛋白的應用上踏出了很重要的第一步。

參考文獻

1. Chan et al. 2021. Proc. R. Soc. B. 288:20211620.20211620.
<http://doi.org/10.1098/rspb.2021.1620>
2. Kamino, K. et al. 2000. J. Biol. Chem. 275, 27360-27365.
[doi:10.1016/S0021-9258\(19\)61519-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)61519-X)

3. Lin, H.-C et. al. 2014. Biofouling 30, 169-181. doi:10.1080/08927014.2013.853051
4. Lin, H.-C et. al. 2021. BMC Genomics 22, 783. doi:10.1186/s12864-021-08049-4
5. Yuk, H. et. Al. 2021. Nat Biomed Eng 5, 1131-1142 (2021) . <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00769-y>
6. Wong Y.H. et al. 2023. Mol. Ecol 2023 ; 32:5071, DOI: 10.1111/m

後 記

藤壺是有趣的生物，它吸引了達爾文用十年時間來研究它們的分類和生物學。從經濟的角度來看，藤壺可以被視為對人類有害和有用的生物。藤壺利用它們強力的水下膠水黏在輪船之船底，對人類經濟造成損害。另一方面，如果我們能夠探索這些水下膠水如何以人工生產，我們則可以得到非常有用的水下膠水。此外，一些藤壺是高級美食的海鮮。筆者希望這篇文章可吸引讀者對藤壺的興趣。

作者簡介



陳國勤

中央研究院生物多樣性研究中心主任及研究員，香港大學博士。研究專長為潮間帶生態，藤壺分類及生物學。陳研究員於2021年與國際藤壺分類學者共同發表一套全新並以分子生物學論證的藤壺分類系統，取替了自達爾文沿用了200多年的傳統藤壺分類系統。此新的藤壺分類系統現為世界廣泛應用。陳研究員現為世界海洋物種目錄（WoRMS）之藤壺分類總編，以更新藤壺最新分類。陳國勤博士也是國際學術期刊，動物學研究之總編輯，英國海洋生物協會期刊（JMBA UK）及Zookeys等之主題編輯。