



珊瑚與共生藻 動植物跨界共生解密

珊瑚與共生藻的共生關係維護了珊瑚礁生態系穩定，但其中確切機制一直不明。海生館發現珊瑚共生時才會出現的特有胞器，是與共生藻運輸協調、合成能量的重要組織，解開動植物跨界共生之謎。

珊瑚礁生態系蘊含豐富的生物多樣性，色彩繽紛的珊瑚維繫著海洋生態的穩定，而珊瑚與共生藻（*Symbiodinium* spp.）的共生關係則是維護珊瑚健康的基礎。共生藻是單細胞浮游生物，屬於渦鞭藻綱，以胞內共生的方式棲息在珊瑚體內，是自然界少見的動植物共生現象。共生藻會將 95% 的光合作用產物提供給宿主細胞使用，就像是珊瑚的太陽能發電機，供給養份給珊瑚，幫助珊瑚得以生長在貧營養鹽海域，兩者共存共榮。

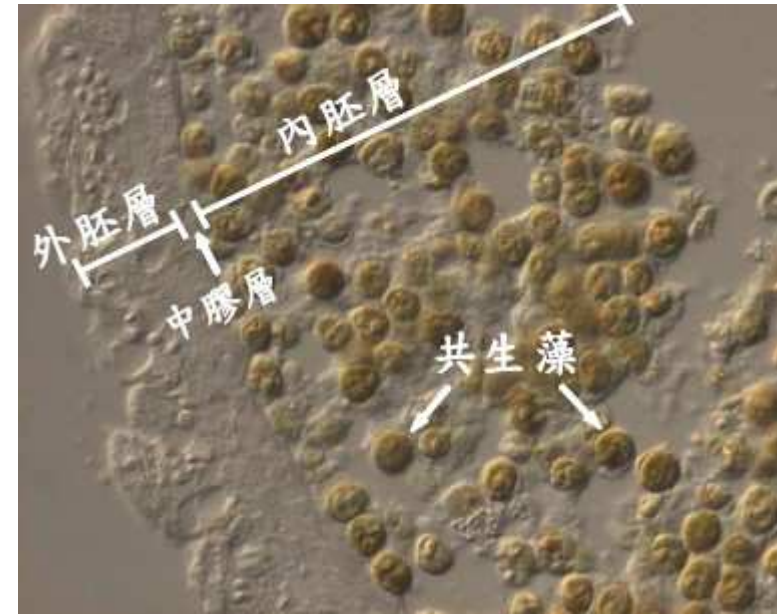
珊瑚對於生長環境極其敏感，必須生長在無污染的海域，當環境中的水溫、酸鹼值、混濁度等發生變化，會直接衝擊到珊瑚與共生藻的共生關係，而立即顯現到珊瑚的健康狀況上：當環境漸差，共生藻會逐漸離開珊瑚體內，失去共生藻的珊瑚其生命機能將大受影響，當共生關係被破壞殆盡，珊瑚也會因此逐漸白化而走向死亡。

全球針對珊瑚胞內共生進行研究至今已有 50 多年，卻一直無法確知其細胞調控與分子機制。早在 1970 年代，科學家就已發現共生藻會釋放脂質（lipid）給宿主，1980 年代進一步發現珊瑚體內有一種儲存脂肪的胞器，並將其命名為脂質體（lipid body），但當時未將脂質體與共生做連結，且自此之後有關脂質體的研究付之闕如。

一直到 2008 年，國立海洋生物博物館才重啟脂質體的研究。海生館副館長陳啟祥表示，幾十年來全球有關珊瑚共生的研究，都是以研究珊瑚白化為主，目標放在找出造成珊瑚白化、也就是讓共生藻離開的原因；而海生館團隊則將研究聚焦於健康的珊瑚，從只有共生關係存在時才會出現的現象與作用去探尋，找出脂質體與共生的關聯性，然後一步步反推回最初的生物共生機制。

海生館選擇以束形真葉珊瑚（*Euphyllia glabrescens*，俗稱火炬珊瑚）為研究對象，因為此類珊瑚的水螅體（即珊瑚蟲，是珊瑚的基本生物單位，組成珊瑚群體）的觸手較其他種類珊瑚長且多肉，適合用來大量收集共生細胞，且束形真葉珊瑚主要分佈在西太平洋，是台灣海域常見的珊瑚，易於就地取材。珊瑚是二胚層動物，他們在束形真葉珊瑚觸手的內胚層中，發現脂質體是在共生關係下才會產生的特殊胞器，自此展開對脂質體的探索。2009 年他們發現當珊瑚逐漸白化時，脂質體的組成會隨之改變並逐漸消失，即時反映共生狀態。

資料來源：<http://sa.ylib.com/EasyLearnList.aspx>



圖為珊瑚觸手組織切片。珊瑚為二胚層動物（中膠層非細胞組織），共生藻以胞內共生方式存在於珊瑚內胚層。（影像來源：陳啟祥）

接著，團隊進一步鑑定脂質體的成份與型態，發現脂質體不只具有儲存脂肪的功能，初步分析看來，脂質體內含七種以上的脂質，包括蠟酯、三酸甘油酯、固醇類等，其中有些動物細胞無法自行生成，可能是經由共生合成而來。團隊研判這些共生合成的脂質是維護共生的重要成份，不過這推論有待進一步證實。

脂質體含有 42 種以上的蛋白質，負責能量代謝、胞膜的物質運輸與循環、細胞形狀與架構、胚胎發育調控、抗逆境反應等眾多功能。其中抗逆境蛋白會在遇到溫度、壓力、光合作用製造出的自由基等不利於生長的環境因素時被製造出來，幫助珊瑚對抗逆境。

除了脂質體的成份，團隊也藉由研究脂質體的密度、大小、型態等，了解共生細胞的動態生長。陳啟祥指出，他們發現一個珊瑚細胞內胞飲的共生藻與脂質體數目不定，一般來說，共生藻從一顆到七顆都有，而脂質體多為一到兩顆，如有兩顆或以上則其中有一顆會比較大。脂質體的消長會隨著一天 24 小時的光照度而有循環變化：日出時，脂質體的數量最少、體積最小、分子結構的雙鍵最多，到黃昏時累積數量達最高峰、體積最大、分子結構的雙鍵最少，意即一整天下來，晚上的脂質體經過共生藻與珊瑚動物細胞不斷「加工」，已與白天的脂質體有所差異；而且傍晚的細胞中會出現碎片狀的脂質體，可能是其開始分解的徵兆。此現象四季皆然，換句話說，胞內共生的工作模式取決於一天的光週期，這是之前從未有人發現的現象。未來團隊期望建立脂質體資料庫，藉此建立珊瑚健康指標。

此外，一般成體珊瑚其胞內共生都發生在內胚層，而團隊發現珊瑚在胚胎與幼苗時期，共生藻在內、外胚層都有分佈，且以外胚層為多；當珊瑚幼苗在海中著床、長出觸手並漸漸成熟之後，其外胚層的共生藻比例漸少，而慢慢集中到內胚層，最終在成體外胚層的共生藻全部消失。其中的原因尚待發掘，目前團隊提出兩個假設：一是在胚胎發育的過程中，在某種機制下共生藻從外往內移動，二是外胚層也有控制胞內共生的基因，但隨著生長與分化後，在某種機制下這些基因停止表現，讓外胚層的共生藻無法生存與增生，但內胚層則不受影響。不過要收集珊瑚胚胎並使其著床相當不易，使得這方面研究材料較為不足，有待日後進一步證實。

在珊瑚共生領域，目前還有許多尚待研究的課題，包括珊瑚細胞為何不會將共生藻這外來物視為有害物質而發動免疫攻擊、擁有許多生物分支的共生藻如何得知與選擇適合生長的珊瑚種類、共生藻與「真命珊瑚」相遇後如何進入珊瑚體內、一顆動物細胞內為何可容納多顆共生藻而不致破裂、黃昏時脂質體的消耗是否因為珊瑚細胞開始將其分解與利用、珊瑚細胞如何維持共生藻數量恆定……。這其中的作用機制目前都是待解之謎，而海生館團隊領先國際打開奧秘之門，未來有賴更多海洋生物學家深入其中，層層揭開美麗珊瑚的神秘面紗。