

研究成果

珊瑚白化：滅絕的鑼聲？樂觀的演化適應？

一個生物多樣性觀點

陳昭倫（生物多樣性中心副研究員）

陽光、清澈湛藍的海水和五彩繽紛的海洋生物，是我們對熱帶與亞熱帶珊瑚礁生態系的即時圖騰，「海中的熱帶雨林」更是描繪珊瑚礁生態系饒富生物多樣性的最佳代言（圖 1），而創造出這樣高生物多樣性生態系背後功臣是一個古老的「共生」（symbiosis）系統——造礁珊瑚與蟲黃藻（zooxanthellae，或稱共生藻）。共生藻生活在珊瑚蟲細胞內（endosymbiosis），以行光合作用所得到的產物，提供宿主珊瑚成長所需的營養。相對的，宿主動物在氧化代謝的過程中，提供共生藻所需的營養。這樣一個共生的組合體，包含了自營性的共生藻類及異營性的動物宿主，形成了共生功能體（holobiont）。同時，共生藻具有加速有機碳循環與鈣離子沈澱（形成珊瑚骨骼）的功能，不僅是建立熱帶珊瑚礁的先決條件，亦在現代造礁珊瑚 2 億 5 千萬年的演化史中，多樣化了超過六百種的造礁珊瑚，更一直困惑著加勒比海與印度西太平洋的珊瑚演化學者[1]。



圖 1 饒富生物多樣性的珊瑚礁生態系與共生藻。左下部分為光學顯微鏡下分離自珊瑚共生細胞的共生藻，比例尺為 10 微米。2005 年攝於台灣澎湖 6 尺深的後袋仔礁（許嘉閔攝）。

造礁珊瑚所呈現出的五彩繽紛色彩，一般認為主要是由共生藻而來。因此，當珊瑚與共生藻之間的共生關係受到干擾時，珊瑚便會出現所謂的「白化」(bleaching) 現象，珊瑚白化的過程包括珊瑚體內共生藻的色素減少，或是共生藻的密度減低，或是二者同時發生，而使得整株珊瑚的外觀比正常情況更白。長時間的白化通常伴隨著珊瑚的死亡，所以珊瑚白化被認為是珊瑚的病態，也是環境惡化的警訊。造成珊瑚白化的原因相當複雜，包括來自內在因子（如老化）或是環境壓力（如海水溫度升高、光度增加、紫外光增強、海水鹽度過低或濁度過高）的改變，而這些外在因素常被歸咎於全球暖化現象（global warming）。近十年大規模的白化事件，已造成世界各地（包括台灣）珊瑚群聚結構及棲地的改變（圖 2），預估公元 2030 年全世界將有 60% 的珊瑚礁走向滅絕。



圖 2 珊瑚白化與群聚改變。(a)大規模的珊瑚白化，攝於 2003 年 4 公尺深的中國團洲島；(b)珊瑚群體的局部白化，攝於 2003 年 4 公尺深的中國團洲島；(c)白化後死亡的珊瑚群體，攝於 2005 年 3 公尺深的台灣澎湖；(d)珊瑚白化後，珊瑚群聚變遷為濾食生物(海綿)為主的群聚，攝於 2003 年 3 公尺深的中國團洲島。

相反的，有些科學家樂觀的認為珊瑚是利用白化來全面替換體內的共生藻，以適應未來越來越高的海水水溫（也就是逆境），這就是所謂的「適應白化假說」(adaptive bleaching hypothesis)。在這聳動的假說背後暗示著三項多樣性的意義。第一、共生藻多樣性高，且與宿主珊瑚間的可塑性(plasticity)也高；第二、重組共生藻多樣性需要逆境驅動（例如，高溫或強光白化）；第三、共生功能體的生理多樣性差異。

過去幾年我們的團隊利用分子生態學的研究方法，逐步進行台灣珊瑚白化與共生藻多樣性的研究，許多的研究顯示，造礁珊瑚體內共生藻具有相當高的遺傳多樣性。這些不同遺傳背景的共生藻，通常是以核糖核酸序列或是限制酵素圖譜多型性定出不同的「親緣型」或是「系群」，目前共有 A-G 七種親緣型，其中以 C 親緣型（廣佈型）和 D 親緣型（狹佈型）最為引人注意。近來的研究更指出，在水溫很高的區域，或是曾經經歷全球海水異常增溫的大白化海域，造礁珊瑚有相對高比例的具有「D 親緣型」的共生藻。我們的團隊檢驗在不同環境條件下（熱帶【墾丁】vs 亞熱帶【澎湖】），及長期高溫水影響（核三廠出水口）下，共生藻群聚的組成差異。結果發現，這兩個珊瑚群聚與高溫水影響區中的共生藻組成並無差異，皆以 C 親緣型為主，而高溫水影響區並無較多的 D 親緣型。這樣的結果顯示，雖有不同親緣型的共生藻存在，高溫水並不會驅使珊瑚更換共生藻[2]。相反的，我們發現產於澎湖潮間帶的斑馬黑菊珊瑚 (*Oulastrea crispata*)，其與 D 親緣型共生藻的共生關係是恆定與專一，且斑馬黑菊珊瑚不易白化，這可能與其所生存環境的溫度逆境 (12-36) 有著很大的關係[3]。在調查共生藻多樣性的同時，我們也找到產於墾丁海域的籬枝軸孔珊瑚 (*Acropora palifera*) 體內可同時存有 C 和 D 親緣型的共生藻。在 13 個月的連續研究中，我們發現籬枝軸孔珊瑚體內共生藻的密度與葉綠素變動正常，並無白化發生。但是，C 和 D 共生藻的組成卻有相當大的變動，甚至完全地重組。而這樣的變動不須牽動珊瑚白化，卻與水溫的季節變動有關[4]。

到目前為止，我們的資料並不支持適應白化假說。雖然共生藻遺傳多樣性高，但是其與造礁珊瑚間的宿主—共生的專一性也高，同時重組珊瑚體內共生藻的群聚在自然狀態下即可進行，似乎不需要利用逆境條件才可完成。也就是說，造礁珊瑚是否能如適應白化假說支持者們的樂觀「演化適應」，仍待更多研究與證據的出現。未來的兩年，我們的研究團隊將在本院主題計畫[5]的支持下，繼續結合野外、離體培養與逆境實驗，探討不同親緣型共

生藻的共生生理生態差異，並就全球溫度增溫對珊瑚礁生存的威脅提出不同的論述。在此之前，當面對溫室效應和全球異常升溫的威脅下，珊瑚礁生物多樣性保育與阻止海洋環境繼續惡化的工作，仍待世人不懈地努力！

相關文獻

1. H. Fukami, A. F. Budd, G. Paulay, A. Sole-Cava, C. A. Chen, K. Iwao, N. Knowlton (2004) Conventional taxonomy obscures deep divergence between Pacific and Atlantic corals. *Nature* 427: 832-835.
2. C. A. Chen, Y.-W. Yang, N. V. Wei, W.-S. Tsai, L.-S. Fang (2005) Symbiont diversity in the scleractinian corals from tropical reefs and non-reefal communities in Taiwan. *Coral Reefs* 24: 11-22
3. C. A. Chen, Lam, KK, Nakano Y, Tsai, WS (2003) A stable association of a stress-tolerant zooxanthellae, Symbiodinium clade D, with the low-temperature tolerant coral, *Oulastrea crispata*, (Scleractinia; Faviidae). *Zool. Stud.* 42: 540-550
4. C. A. Chen, J.-T. Wang, L.-S. Fang, Y.-W. Yang (2005) Fluctuating algal symbiont communities in *Acropora palifera* (Cnidaria; Scleractinia) from Taiwan. *Mar. Ecol.Pro. Ser.* 295: 113-121
5. 陳昭倫 (2005) 珊瑚白化、共生藻多樣性與光生理差異。中央研究院學術通訊 (付印中)