

## 滾滾紅球 — 淺談台灣的紅藻球

何旻杰、王士偉、郭兆揚

如果你喜歡吃千層派或酥皮麵包，那你一定對這類西點的多層結構有很深刻的印象。自然界也有構造類似千層派的物體，這些物體被通稱為包殼粒（coated grains）。包殼粒一般是由一個堅硬的核心，例如：小石頭、貝殼、或石珊瑚…等生物的骨骼碎屑。核心外面包裹著由化學沉澱或是生物附著生長所形成的同心包裹層（也稱作包殼層）。核心及包裹層兩者組合成大小不一的包殼粒。

包殼粒通常為球形或橢球形，顆粒的直徑從小於1公分至大到數十公分不等，有些包殼粒的表面會有許多小分枝或顆粒狀突起。包殼層可以由多樣的生物種類形成，包括：細菌、藍綠菌、苔蘚蟲、有孔蟲、珊瑚、牡蠣、藤壺及珊瑚藻等。包殼粒的分布範圍也很廣泛，從淡水的湖泊、河流、熱泉及洞穴等，到海水的潮間帶、潟湖、珊瑚礁、及深海等處，我們都可以發現包殼粒的蹤跡。在石灰岩中，包殼粒是很常見的顆粒組成，因此它們是地質研究中很具代表性的環境指標，從十八世紀開始，包殼粒就有很多的相關紀錄和研究。

在臺灣發現的包殼粒中，紅藻球（rhodolith），也就



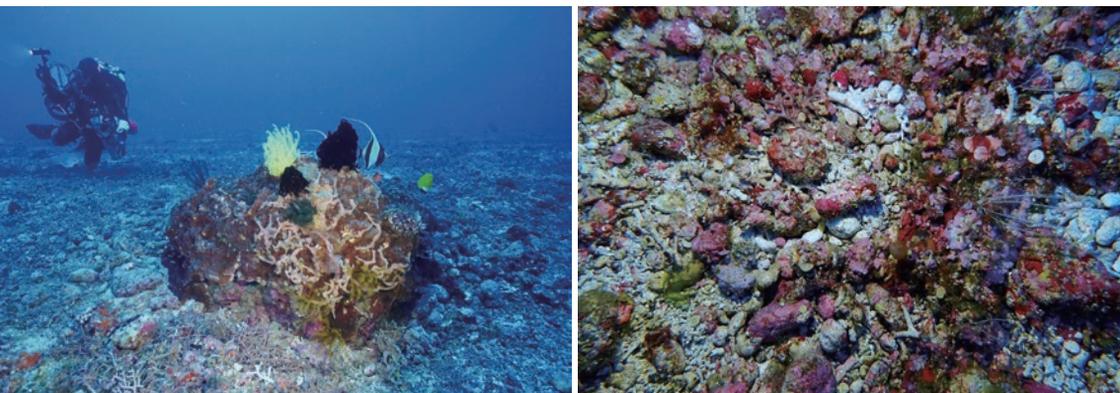
圖一、在綠島海域發現的紅藻球。（左）表面可見短柱突起；（右）切開剖面可見核心外層的同心中包裹層。

是本文的主角，是最常見的一種類型（圖一）之一。顧名思義，紅藻球主要是由紫紅、橙紅、或粉紅等色澤的無節珊瑚藻（non-geniculate coralline red algae），經過間歇性的成長，層層包裹生長而成。而在形成過程中，紅藻球會受到海浪或水流等自然擾動，以及魚類等底棲生物的攪動而產生間歇性的滾動，促使珊瑚藻等附著生物有機會一層一層的包覆在核心顆粒表面。因此，滾動與否及滾動頻度皆對紅藻球的生長至關重要。此外，光線與溫度這兩種環境因子則會影響珊瑚藻的生長。而沉積速率的快慢，則決定紅藻球是否會在形成的過程中被沉積物掩埋。

紅藻球的成長相當緩慢，而且壽命通常很長（可超過100年）。現生的紅藻球分布範圍相當廣泛，從赤道到極區，從潮間帶到水深270米處，都可以發現它們的蹤跡。紅藻球常常會聚集在礁斜坡下緣的局部低窪處。而大量紅

藻球堆積的區域被稱作紅藻球床（rhodolith bed），紅藻球床（圖二）能提供多種生物的三度空間棲息地，包括：藻類、無脊椎動物、珊瑚、及魚類等，因此也是生物多樣性熱點之一。多項研究已證明：紅藻球床是許多物種在幼年時期的合適棲息地，也為一些重要的經濟物種，例如：貝類的幼苗，提供了庇護所。

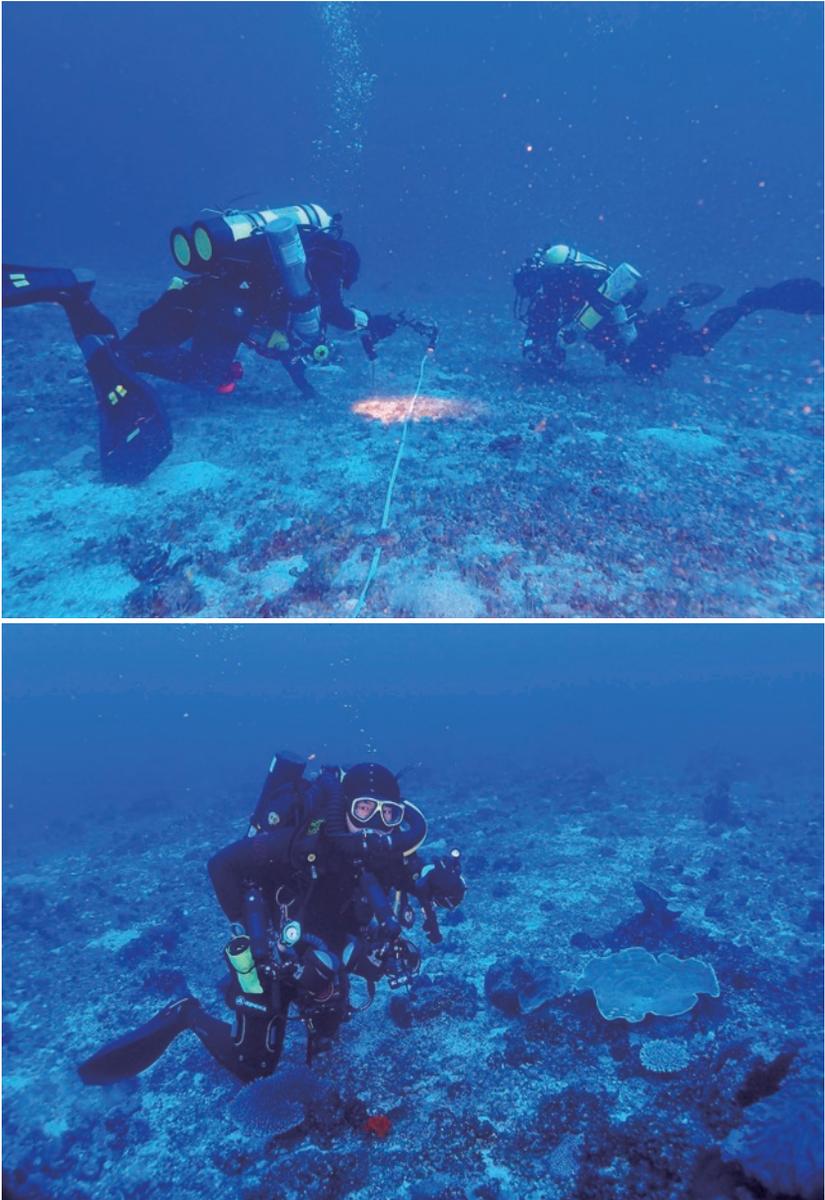
紅藻球是碳酸鹽沉積物的主要來源之一，這些沉積物形成廣泛的海灘與海岸沙丘。紅藻球被廣泛的應用在肥料和土壤的改良劑、生物脫氮劑、飲用水穩定劑、消毒劑、動物飼料添加劑、製藥、化妝品、骨外科、甚至應用在核能工業上。除此之外，紅藻球也被用來探究最近數百年的生態和氣候資訊，幫助我們推論過往的生態及氣候變遷，以及重建碳酸鹽岩古沈積環境的依據。



圖二、（左）綠島龜灣海域的紅藻球床；（右）紅藻球床上的高密度紅藻球。

臺灣的紅藻球，最早在1978年，首次被地質學者魏國彥教授在東部海岸山脈石灰岩的研究中描述，之後又被其他的學者研究與報導，但這時期所發現的紅藻球都屬於化石紀錄。至於現生的紅藻球，除了宮守葉博士2000年在澎湖菓葉的潮間帶曾記錄過之外，直到2009年，魏國彥教授的研究團隊使用底泥抓取器採集到20個生長在臺東縣東河鄉外水深約62米大陸棚的紅藻球樣本，這是臺灣本島周邊海域的首次紀錄。至於紅藻球的生態和生物多樣性則一直沒有相關的研究。事實上，整個西太平洋，除了日本和澳洲以外，在生態學和海洋生物學方面，紅藻球的相關研究仍相當稀少。

長久以來，受限於傳統潛水的深度，人類能接觸的珊瑚礁多侷限在水深40公尺以內的淺水區，超過這個深度的珊瑚礁則罕被研究。水深30公尺至水深150公尺左右的區域被稱為中光層珊瑚生態系（Mesophotic Coral Ecosystem, MCE），乃因此區域的光線相對淺水區微弱，最深處的光線穿透率大約僅為水面的1~10%左右。近年來，由於潛水設備與技術被大幅改善，我們得以窺見中光層珊瑚生態系的樣貌。從2014年開始，生物多樣性研究中心陳昭倫研究員的團隊，利用科學技術潛水（Scientific technical diving）的設備與技術（圖三），搭配氮氮氧（Trimix）、高氧（Nitrox）、和純氧（Oxygen）等氣體，以及開放式裝備（Open Circuit）與閉路式循環水肺系統（Closed Circuit Rebreather, CCR），在綠島海域執行了國內首次的「中光

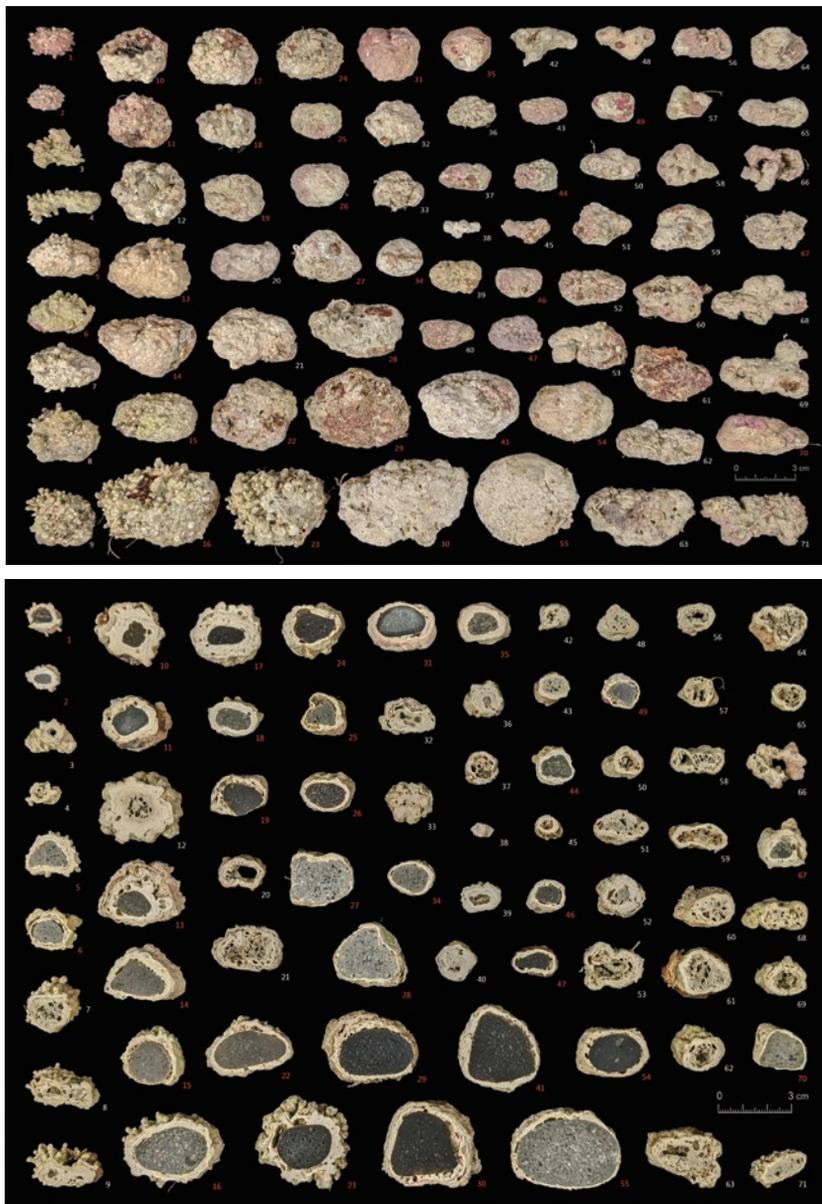


圖三、（上）使用科學技術潛水設備進行中光層紅藻球調查（深度60米）；  
（下）使用閉路式循環呼吸器進行中光層調查（深度40米）。

層」珊瑚生態系研究計畫，截至目前為止共記錄到103種石珊瑚，其中即有12種為臺灣新紀錄種。此豐碩的研究成果證明：「中光層」珊瑚生態系是一個新興且充滿潛力的海洋生態學研究領域。

2022年2月，本團隊於綠島南面的龜灣海域進行調查，在水深40米以下珊瑚礁坡底部的砂地環境中，我們記錄到由大量紅藻球聚集所形成的紅藻球床。此區域的海底多為粗砂或礫石底質，偶而夾雜直徑數十公分至十幾米的大型塊礁。在經過數次調查後，我們發現該區域的紅藻球主要分布於水深40~80公尺之間，數量以水深40米到60米之間的豐（富）度較高，在70米以下其密度逐漸下降。我們於50米深的區域採集了71顆紅藻球（圖四），乾燥後進行測量與秤重，所測得的直徑最大有6.5公分，最小僅1.4公分，重量最大為80.2公克，最小為3公克。其體積多數小於10立方公分，重量低於20公克。根據這些測量結果，我們得知綠島中光層的紅藻球多為球形或橢球形，且多數的表面呈現疣瘤狀或短枝狀突起，僅少數為枝狀石珊瑚碎塊上附生薄層的珊瑚藻且有短枝狀突起。

我們可以用紅藻球的形態推估其生成環境的水流能量狀態。團塊狀形態出現較多的區域通常有較強的水流能量。本研究有些標本的直徑超過6公分，顯示除了水流能量較強外，生物翻動的比例應該也很高，我們推測魚類或海膽等生物在該區域應該有頻繁的覓食活動。不過，水流及生物翻動的程度、比例、及交互作用的影響還需要進一步



圖四、（上）在綠島龜灣海域50米深處所採集到的紅藻球樣本；（下）橫切後的紅藻球樣本（王士偉攝）。

的釐清。小型紅藻球的存在也表明該區域沈降的細顆粒不多，因此不致於掩埋成長緩慢的紅藻球。由於綠島海域、臺東東河外海大陸棚、及沖繩群島海下平台的紅藻球在形態上相當類似，我們認為此三處海域應該具有相似的水文條件。

我們在紅藻球床上也發現水媳、海綿、軟珊瑚、多毛類、小型甲殼動物、苔蘚蟲、貝類、海星，及游離生長的軸孔珊瑚與列孔珊瑚等多種無脊椎生物。此外，在紅藻球的碎屑沈積物中，我們也發現小型腹足類、海膽骨針、陽隧足、多毛類鈣質棲管、介形蟲、軟珊瑚骨針、海綿骨針、苔蘚蟲、及多種大型有孔蟲（如：*Homotrema*、*Acervulina*、*Heterostegina*、*Amphistegina*、*Calcarina*、*Baculogypsinoides*、*Alveolinella*、*Sorites*、*Sphaerogypsina*）等微體生物鈣質骨骼，顯示這片由紅藻球所構成的棲地擁有很高的生物多樣性。

從上個世紀開始，隨著紅藻球及相關物種的研究進展，人類對紅藻球在海洋生物多樣性所扮演的角色有更深入的了解。作為世界上獨特的生態環境之一，紅藻球雖然對各種環境干擾有較高的韌性，但是它們還是會受到海洋酸化、全球暖化、及商業捕撈等因素的迫害。現今對紅藻球或紅藻球床的生態體系仍缺乏明確定義，這使得保育這個重要的海洋生物多樣性棲地受到許多限制。在2022年，我們首次在臺灣海域的中光層紀錄到紅藻球生態系。在未來，我們將持續探索綠島龜灣海域中光層生態系，並研究

現生紅藻球生態及多樣性，冀望我們的研究可以解析臺灣中新一更新世地層中常見的紅藻球生物碎屑石灰岩組成、推論臺灣海域過往的氣候及環境變遷、並提供能協助紅藻球 / 紅藻球床保育的研究成果。

## 後記

常被稱為內太空的海洋世界，目前人類對她的瞭解還非常有限，有許多區域仍等待著我們進一步探索。隨著科技的進步，我們有了更多的工具可以深入這充滿奧秘的深邃世界，中光層生態系的神秘面紗正逐漸被揭開，歡迎讀者一同加入探索這迷人的內太空。

## 作者簡介



### 何旻杰

中央研究院生物多樣性研究中心研究助技師，臺灣大學博士，研究領域包含氣候變遷下之珊瑚礁生態、中光層珊瑚生態系。喜好潛水，從北方三島至南沙太平島，蘭嶼至金門、馬祖都有他的足跡。目前是臺灣珊瑚礁學會理事，國家潛水教練協會（NAUI）臺灣代表。



## 王士偉

國立自然科學博物館地質學組副研究員兼組主任。臺灣大學博士。主要研究興趣為新生代生物礁發育，調查過臺灣東部與西南地區的石灰岩、桃園海岸生物礁發育、淡水與半淡鹹水環境中微生物岩，以及與深海碳烴滲漏有關的「冷泉碳酸鹽岩」。



## 郭兆揚

國立海洋科技博物館產學交流組聘用專案助理，澳洲詹姆斯庫克大學博士。主要研究領域為石珊瑚群聚動態與珊瑚礁的變遷、中光層珊瑚生態系。目前是臺灣珊瑚礁學會理事，國家潛水教練協會（NAUI）水肺潛水教練。