

蛋殼不簡單

涂煥昌

說到蛋，多數人會想到雞蛋，因為它是日常的基本食材，許多科學實驗也會拿雞蛋做耐摔、耐壓或保護測試的材料。事實上，不只鳥類會產蛋，許多爬蟲類也是卵生的，也都倚靠蛋來孵孕下一代。

對於雞蛋殼，我們或許已有深入的了解：比如以功能來看，雞蛋殼可以保護內在的胚胎，也兼具與外界交換氣體的能力；而堅硬的殼主要成分中超過9成是碳酸鈣，能提供不錯的耐壓強度……然而，有許多爬蟲類的蛋殼既不堅硬，也無法承受太大的壓力，有些甚至是既軟又韌。同樣是蛋殼，為何卻有這麼多樣化的特質？這現象引起清華大學材料科學工程系陳柏宇教授的高度好奇。

陳教授表示，由於演化及生物的習性，造成了爬蟲類與鳥類的蛋殼有截然不同的特性。而就算同屬爬蟲類，如常見的蛇、

烏龜與壁虎，牠們的蛋也各自不同。其中蛇類的蛋殼最軟，且富延展性，能夠堆疊在一小空間中；龜類的蛋殼則稍具硬度，但不脆，頗與龜類下蛋的習慣是掉落在坑內有關；而壁虎的蛋殼，初生時如皮革般柔軟有韌性，但隨時間逐漸硬化，使其能安全地藏匿于縫隙中。

都是蛋的殼，不同種類的生物卻呈現了截然不同的特質，真是神奇。然而，我們對雞蛋以外的蛋殼，除了粗略的定性描述外，其實是毫無所知的。陳教授便先以台灣眼鏡蛇與班龜的蛋殼為對象，對其機械性質做深入的探討，出乎意料地發現了許多驚人的結果。

首先，陳教授發現蛇、龜之類的爬蟲，其蛋殼是一種複合性的材質，是蛋白質與礦物質的結合。通常，蛋白質會使蛋殼較軟，但韌性較好，惟強度會較差；礦物質則會提升蛋殼的強度，但副作用就是使其變得易脆；而複合式的材質便具有截長補短





眼鏡蛇蛋殼（中）與班龜蛋殼（左）在外觀上和雞蛋殼（右）有明顯的差異，除了厚薄之外，機械性質也大不相同。

的優勢，可幫助生物適應外在環境的各種衝擊。

陳教授另發現蛇蛋與龜蛋的殼甚薄，僅約 1 毫米厚，但其結構似乎不是單層，而有數層之多，並且各自有其功能，如蛇蛋殼就是 4 層結構，龜蛋的殼也有 3 層。大致看來，最外層是以生物礦化後的角質蛋白為主，質地稍堅硬，具基本的保護功能；中間與裡層則以纖維化的角質蛋白為主，但以垂直交錯與平行的方式編織成型，可能可以增強韌性，使外力難以刺穿或撕裂。如此複雜的多層次結構與複合性成分，讓爬蟲類的蛋在面對環境風險時能有更強大的自我保護能力。

陳教授還發現，隨著環境溼度的變化，蛇與龜蛋殼的機械性質也會隨之改變；也就是，同個蛋殼在乾燥與潮溼的環境中，

其變形能力（延展性）、韌性（耐撕裂程度）與強度（耐壓力）都會適時調整。見識到如此強大適應力的展現，令人對生物面對大自然多樣化且嚴酷的生存挑戰時，其積極應變的能力讚歎不已。

陳教授的研究表面上是分析蛋殼的細部結構，但對防護概念的進化，與複合材質布料的開發上，其實也提供了開創性的思考方向。大自然的巧思與演化的力量令人歎為觀止，師法自然或許也是科技進步的一個途徑。

涂煥昌

本刊特約文字編輯
