

月魚—全身熱血的神奇魚種

劉恩良、吳允暉、吳瑞賢、周愛瑛、何源興

水產試驗所東部海洋生物研究中心

緣起

2015 年 6 月 12 日，每天準時到新港漁港調查的同仁通知有斑點月魚 (*Lampris guttatus*) 入港，東部中心標購後帶回實驗室進行解剖研究。雖然月魚屬於全球大洋分布魚類，在東部海域仍屬少見，去年僅有 2 筆入港紀錄，這隻尾叉長 133 cm，74 kg 重的月魚還是今年新港海域首筆漁獲紀錄。

一、形態簡介

初步檢視斑點月魚的外觀，可以明顯發現胸鰭下方有一個約 5 cm 的圓形切口，疑似雪茄鯊 (巴西達摩鯊) 造成的傷口 (圖 1)。依序切開其鰓蓋與胸鰭，發現鰓耙有一層厚約 1 cm 的脂肪 (圖 2)，這就是月魚保溫的祕密武器。深紅色的胸肌足足占了腹腔 2/3 的空間，月魚就是利用這深紅胸肌拍動胸鰭，在海中振翅追逐牠喜愛的魷魚群。目前已知會進行振翅運動的魚種包括隆頭魚科成員與曼波魚。斑點月魚分布在全球各大洋區，屬月魚目月魚科的唯二成員，本科另一成員為僅分布在南半球的無斑月魚 (*L. immaculatus*)，體型略小，較為橢圓延長。月魚最大體長可達 2 m，體重超過 250 kg，體型是側扁的卵圓形，第一印象會認為是曼波魚 (鮪形目) 的紅色親戚，故日名稱紅曼波，但兩者



圖 1 幾乎占滿整個解剖台的斑點月魚 (尾叉長 133 cm)，胸鰭下方有一個圓形切口



圖 2 月魚鰓弓基部布滿脂肪

並無親緣關係。其為大洋性中表層魚類，多在表層到 500 m 水深範圍活動，會成群遷移，游泳時上下揮動其強壯的大型胸鰭，方式獨特，主食為魷魚、章魚等頭足類軟體動物。目前關於本魚種之生態資料極少。

SPECIAL REPORT

類，必須流通 40 倍以上的體積，才有足夠的含氧量。另外，水的高比熱也確保鰓中血液可以被氧飽和。通常，魚類代謝產生的熱由血液運送到鰓，再經交換釋出到環境，藉此，體內組織得以維持在與環境溫度相差攝氏一度或一度以內的溫度。

大部分的魚類屬於變溫性，而一部分的魚類屬於恆溫性，如鯖亞目的鯖、鮪、齒鯨、旗魚，和鼠鯊科的食人鯊、光吻鯖鯊、鼠鯊等。恆溫性的必需要件是大體型、代謝熱的來源，與熱的保存機制。依據這些條件，恆溫性的魚類可分為二類型：(1)全身恆溫型，如鮪魚，除腦、眼、內臟之外，靠血管熱交換紅色氧化游泳肌所產生；(2)局部恆溫型，如旗魚，使用獨特的加熱器官，提高腦、眼之溫度。

因功能趨同演化的結果，使得頭部恆溫型成為魚類最常見的局部恆溫型式。這些魚類大多可以長距離的洄游，並可在同一水層作密集的上下運動，經歷大幅度海水溫度的改變。此外，這些大洋性的掠食者具有較大的眼球，並靠視覺尋找活動的獵物。目前為止，關於頭部恆溫型魚類在寒冷、黑暗水域具有較高捕食能力的假說有二：(1)頭部恆溫減緩因周圍環境溫度迅速的改變造成中樞神經系統的衝擊；(2)頭部升高的溫度有助提昇解析間歇性視覺訊號能力，進而追逐迅速游動的獵物。這些魚類產熱的部位不盡相同，以旗魚為例，產熱組織是由上眼球外直肌衍生而成，翼腹鯖的產熱組織則由側眼球外直肌衍生特化而成。這些產熱的細胞與必需依賴腺核苷三磷酸 (ATP) 在肌質網膜上的鈣離子。細鯨則是以上、下、中、側眼球外直

肌聯合成位於腦部下方的特殊產熱組織。其他的鮪類並沒有與眼球外直肌或腦部內代謝有關產熱的報告。鼠鯊科的魚類則是藉由獨特紅肌肉靜脈與脊髓靜脈將緩慢氧化生肌節內的熱轉送到頭部，而眼球外的收縮也會在這些鯊類造成產熱的效果。為降低熱傳導，旗魚、鮪魚的眼和腦都被一層脂肪組織所裹覆，鼠鯊則是由一對位於眶骨的舌動脈，動脈神經叢與眶骨靜脈竇所組成的複雜結構來減少熱量傳導。

Science 研究報告顯示，月魚在水溫 $7.8 - 10.8^{\circ}\text{C}$ ，水深 50—300 m 之間游動時，平均胸肌溫度較周邊溫度高約 $4.8 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 。月魚的產熱主要是由持續泳動暗紅色的胸肌群所負責，而胸肌外包覆著 0.88 ± 0.21 cm 厚的脂肪結締組織。不像其他魚類靠身體的波動完成向前推進的運動，月魚主要使用胸鰭振動來完成，需氧性的胸肌群佔總體重的 16%，以及推進肌群的 37%，所佔比例較局部內溫型的鮪魚與鼠鯊多 25—800%。令人意想不到的是，月魚每一個厚實和被脂肪所包覆的鰓弓，布滿逆流的血管網，此種結構阻絕了氣體交換表面與身體其他部位的接觸。血管散布在鰓的方式不像其他魚類，入鰓與出鰓絲狀動脈延伸，以一種繁密聚集而且扭曲的方式，埋藏在每一個鰓弓而形成一個動脈與動脈間的網絡。特別是每一個鰓絲的入鰓與出鰓動脈是成對的並且堆疊在鰓弓內，所以每一個出鰓血管內溫度較低的含氧血，可以立即被入鰓血管內溫度較高缺氧的熱所加溫，促使離開呼吸交換表面的含氧血在進到出鰓動脈前得以升溫，並分配到身體其他部位 (圖 4)。而月魚頭部較體幹高溫的現

象，顯示腦與眼球外肌可能扮演另一熱來源的角色。特別重要的是月魚具有提高心臟溫度的能力（圖 5A），月魚心臟除了接受從冠狀動脈與靜脈回流溫度較高的血液，也被一層厚約 0.56 ± 0.07 cm 的脂肪層與鰓腔隔絕。不像鮪魚與鼠鯊等表層掠食者，月魚演化的歷程可能是朝向更深的水層（月魚族群

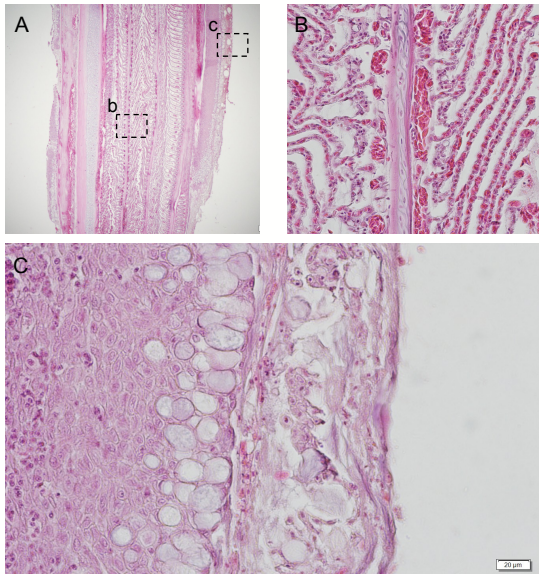


圖 4 月魚鰓絲複雜緻密的構造 (A：鰓絲組織縱切圖、b：鰓絲中央組織、c：鰓絲側邊組織；B：鰓絲中央為軟骨組織，兩側密布微血管；C：鰓絲側邊含有一層脂肪組織)

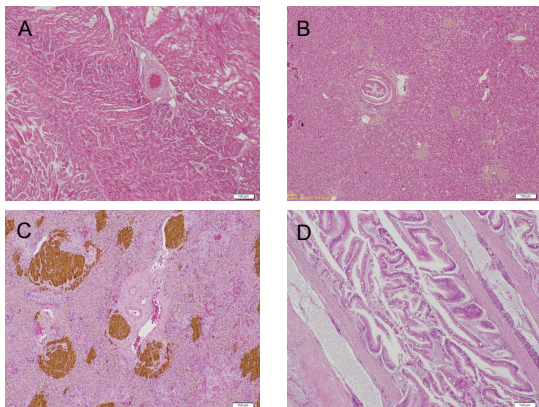


圖 5 月魚組織切片圖 (A：心臟；B：肝臟；C：脾臟；D：胰臟)

大多分布在 200–1,000 m 深海域)，所以月魚不是採用局部恆溫形式在斜溫層中短暫地覓食，而是採用全身恆溫的方式來開拓在更深更冷水域中生存的能力。最近發現在南半球的無斑月魚 (*L. immaculatus*)，和斑點月魚 (*L. guttatus*) 恆溫生理構造的發現，將是未來探索魚類對溫度適應與演化上的熱門課題。

五、月魚的耳石形態特徵

耳石 (otolith) 是硬骨魚類內耳中由碳酸鈣與有機基質交互形成的生物礦化作用結晶，是硬骨魚類協調運動平衡及聽覺感受器之一，依其存在魚類內耳膜性迷路系統中的位置可區分為三對，即礫石 (Lapillus)、扁平石 (Sagitta) 與星狀石 (Asteriscus) (Degens et al., 1969; Lowenstein, 1971)。耳石中的元素主要來自於外在的水體環境，這些元素藉由魚鰓或是消化道的吸收，透過血液的傳輸由耳石囊壁細胞進入內淋巴系統，最後才能沉積在耳石上。月魚的扁平石及星狀石被包覆在富有彈性的內淋巴囊中，而更小的礫石則在三半規管中（圖 6），這些耳石外層都被濃稠的黏液所包覆使其不易受到破壞。

月魚之扁平石的外型相當特別，由正面看起來像是鳥展翅飛翔的形狀，耳石的脊及凹溝不明顯，在其表面有許多的凸起結構（圖 7）；星狀石較其他魚類發達，彎曲度很大，由側面觀之呈現 L 型的型態（圖 8）；礫石為立體的結構，表面亦有複雜的凸起結構（圖 9）。

耳石是時間及環境的記錄器，受到外在因子（如光週期及水溫變化）及內在因子（如生理條件及新陳代謝率）等調控而形成如同樹輪一般規律性的輪紋結構，計算輪紋

的數目就能知道魚類的年齡或日齡，量測輪紋間的寬度則可以重建魚體隨著時間的成長變化 (Campana and Neilson, 1985; Campana, 1999)。

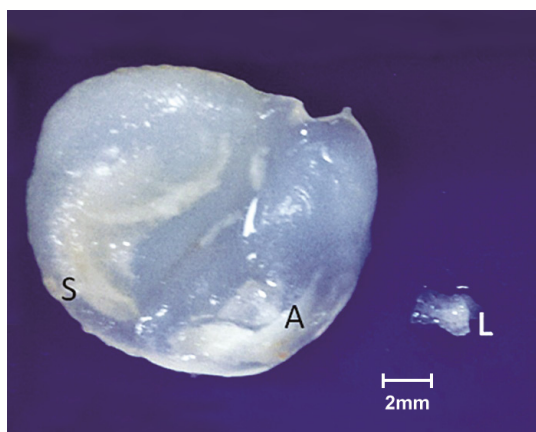


圖 6 內淋巴囊與三對耳石
(S：扁平石；A：星狀石；L：礫石)

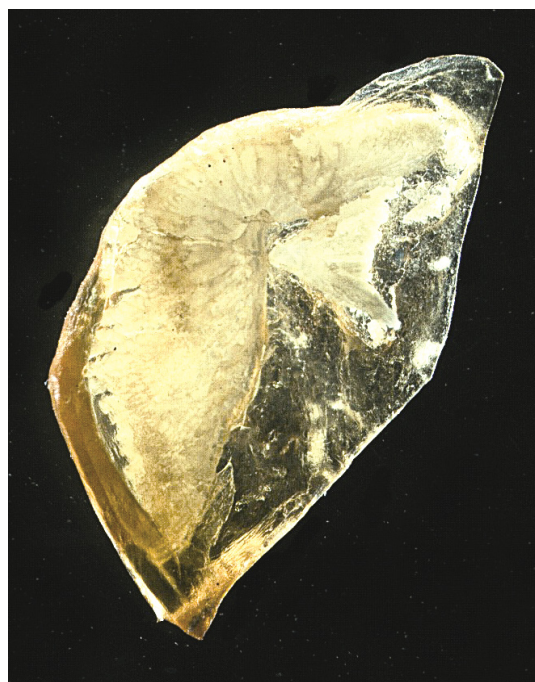


圖 7 囊內的扁平石

結語

臺灣東部位於生物多樣性豐富的黑潮地帶，擁有珍貴的海洋生物資源。本中心在世界一流月魚研究報告發表不久，迅速整理出相關文獻，再根據研究專長呈現第一手研究成果，希望對國內海洋生物的研究有拋磚引玉的貢獻。

本文主要參考資料：

- Nicholas C. Wegner, Owyn E. Snodgrass, Heidi Dewar, John R. Hyde. (2015) Whole-body endothermy in a mesopelagic fish, the opah, *Lampris guttatus*. *Science*, 348(6236): 786-789.
- Rosa M. Runcie, Heidi Dewar, Donald R. Hawn, Lawrence R. Frank and Kathryn A. Dickson (2009) Evidence for cranial endothermy in the opah (*Lampris guttatus*). *The Journal of Experimental Biology*, 212: 461-470.
- The physiology of fishes. 1993. David H. Evans. 427-467.

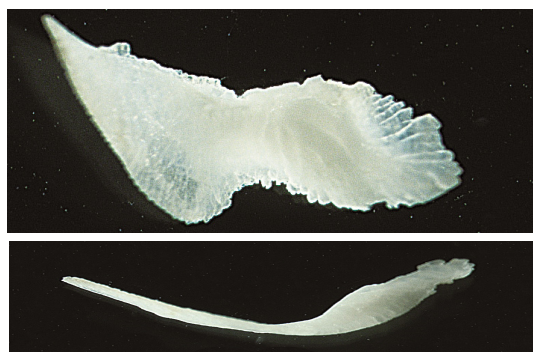


圖 8 星狀石正面(上)、側面(下)



圖 9 礫石正面