

以代謝體學 揭開白蝦成長奧祕

撰文 | 水產試驗所東港養殖研究中心 郭秋慧、陳陽德、吳豐成

本土 vs. 外來： 白蝦成長差異藏在哪裡？

南美白蝦（*Litopenaeus vannamei*）是全球養殖產量最高的蝦種之一，每年產量超過 5 百萬噸。臺灣養殖業者過去常引進國外育種的白蝦品系，但也逐漸培育出具有本土適應性的品系。那麼，本土蝦在生長表現上有何不同？這背後的原因又是什麼？本研究鎖定東港養殖研究中心培育的在地白蝦品系DG5，以及從國外引進的SIS育種品系DG10，透過代謝體學來比較兩者的成長差異與體內代謝特徵。代謝體學好比替白蝦做一次「全身健康檢查」，把體內上百種小

分子代謝物的狀況摸透透，讓我們看到傳統生長數據背後隱藏的生理機制。研究團隊希望藉此找出為什麼有的蝦子長得又快又壯，而有的則稍遜一籌，進一步發掘在地品系DG5的優勢與育種價值。

試驗怎麼做： 從養殖池到實驗室

為了公平比較，本研究將DG5 與 DG10這2個白蝦品系放在相同條件下飼養。一開始，2組蝦苗大小略有差異：DG5個頭較小（初始體重約0.084公克），而DG10較大（初始體重約0.17



DG5 白蝦品系。



DG10 白蝦品系。

各品系生長表現，不同標示字母表示兩組間差異達顯著水準 ($p < 0.05$)

指標	DG5 (在地，本土品系)	DG10 (外來，引進品系)
初始體重 IW (g)	0.084 ± 0.033^b	0.170 ± 0.017^a
最終體重 FW (g)	19.08 ± 1.46^b	21.09 ± 0.89^a
全程生長速率 SGR (%/天)	5.65 ± 0.35^a	5.08 ± 0.11^b
存活率 (%)	70.99 ± 4.00^a	71.65 ± 5.00^a
飼料轉換率 FCR	3.61 ± 0.14^b	1.27 ± 0.10^a

公克)。研究人員在循環水養殖系統中，以高放養密度培育牠們97天，期間記錄生長數據，包括體重增加、飼料使用量和存活率等。養殖過程結束後，分別從每組挑選蝦隻取樣（各組6尾），迅速冷凍並送進實驗室進行代謝體分析。透過高解析度質譜儀的掃描，我們取得每尾蝦體內數百種代謝物的濃度資料，再運用統計方法比較兩品系在代謝指紋上的差異。

成果揭曉

如上表結果顯示，在相同養殖環境下，2個品系的白蝦都長大不少，但表現各有千秋。本土品系DG5雖然起步時體型較小，卻展現驚人的生長衝勁：97天後體重飆到約19.08公克，體重增長將近230倍，計算得到的特定生長速率（SGR）高達每日5.65%。相較之下，外來品系DG10因起跑點較大，最終體重約21.09公克，略勝DG5一籌，但SGR為每日5.08%，明顯低於DG5。換句話說，DG5在生長速度上更勝一籌。

然而，談到飼料轉換效率（FCR），也就是每增重1公斤所需的飼料公斤數，DG5的表現就不如DG10。DG5的FCR約為3.61，代表要花3.61單位的飼料才能長出1單位的重量；DG10的FCR只有1.27（幾乎是DG5的三分之一！），表示DG10吃得少長得多，更有效率地把飼料轉成體重。兩組白蝦的存活率則相近，約在71%左右，顯示適應環境的能力都還不錯。

上述結果讓我們看到一個有趣的「速度 vs. 效率」對比：本土DG5就像一輛跑車，加速衝刺能力一流（生長率高），但油耗相對驚人（餵更多飼料）；反觀外來DG10更像穩健的油電混合車或長跑選手，雖然加速度沒那麼猛，卻把每份飼料都充分利用（餵較少也能長肉）。造成這種差異的原因是什麼呢？研究人員推測，DG5為了快速長肉，體內新陳代謝可能開到全檔高速運轉，導致能量大量消耗在維持高速生長和應激反應上，餵進去的飼料有較大比例變成「油耗」而非有效增重。相



白蝦品系於相同飼養條件下之體型差異比較。

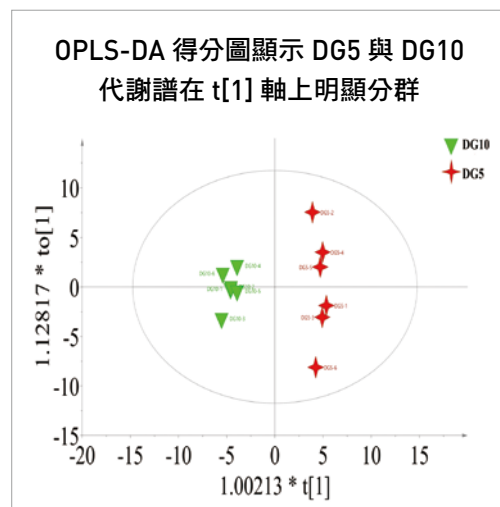
對地，DG10或許因為遺傳育種背景不同，身體將能量分配得更有效率，使增重所需的能量較少。當然，這些推論還需要深入的生理和生化證據支撐。接下來，我們透過代謝體學的分析，來一探究竟2品系白蝦體內代謝系統的差異，找找看究竟是哪裡不一樣。

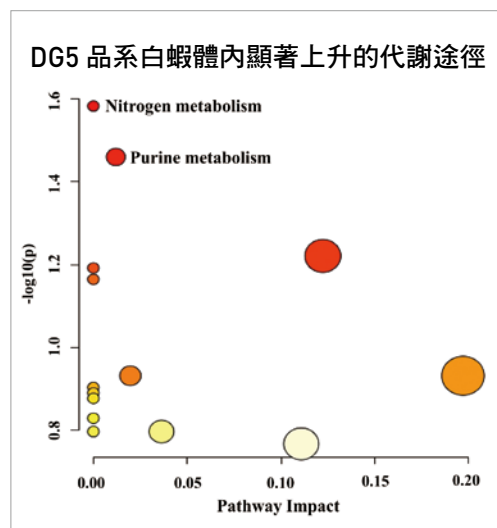
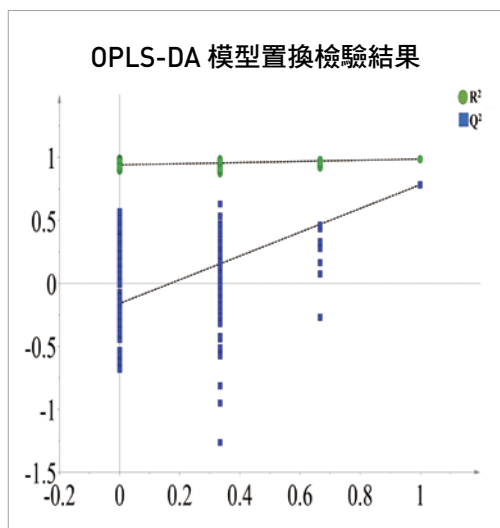
打開代謝黑盒子： OPLS-DA看懂白蝦體內差異

光看生長數據，我們已經瞧見DG5和DG10在外在表現上的明顯差異。那在內在代謝方面呢？研究團隊運用OPLS-DA（正交偏最小平方法判別分析）這種多變量統計工具，來處理上百種代謝物的數據。一開始聽到OPLS-DA可能很拗口，但它的功能其實可以比喻為「代謝指紋分群圖」：把複雜的代謝數據投射到1張圖上，如果2組樣本

的代謝型態不同，就會各自聚成一群，彼此明顯分開。我們可以想像，用這方法彷彿替每隻蝦子拍了1張「代謝X光片」，再比較2品系的X光片有哪些系統性不同。

不過，科學研究講究謹慎。為了確認的分群結果並非偶然假象。採用一種稱為置換檢驗的方法，多次隨機打亂樣





本的組別標籤來重跑模型，如果模型只是亂湊巧分出2群，那隨機化後也可能出現類似的分群效果；反之，如果隨機化後模型表現大幅下降，就證明原模型確實有效。結果顯示，經過200次的隨機置換，模型的預測能力 Q^2 幾乎掉到0附近甚至變成負值，而原始未打亂的模型 Q^2 約為0.75，同時模型的解釋度 R^2 高達0.99。兩者差距明顯，確認模型沒有過度擬合，對分辨DG5與DG10的代謝差異相當穩健可靠。

成長祕密在哪裡？ DG5代謝優勢大解析

代謝體學分析不僅讓我們確認兩品系的確有差異，還進一步告訴我們差異出在哪些代謝路徑上。研究團隊針對DG5和DG102組代謝物含量的差異，進行代謝途徑富集分析。結果發現，在本土品系DG5體內，有2大類的代謝途

徑活性特別強：一是「氮代謝」，再來是「嘌呤代謝」。簡單來說，氮代謝相關的是氨基酸的合成與利用；嘌呤代謝則跟核酸（DNA、RNA）的生成與分解有關。DG5組別顯示出明顯更高的氮代謝活性，代表這些蝦子體內投入大量資源在製造和循環利用氨基酸，快速合成蛋白質、修復組織所需。同時，嘌呤代謝途徑在DG5裡也顯著增強，意味著細胞內DNA/RNA等遺傳物質的前體物質供應充足，能支撐高速度的細胞增殖與生長。簡而言之，DG5就像開啟體內「氮工廠」和「核酸工廠」，開足馬力生產生長所需的各種原料。

除了上述兩大途徑，DG5在能量代謝相關的路徑上也有不俗表現，例如麩醯胺酸循環、丙酮酸代謝和支鏈氨基酸代謝等，都呈現中度上調。這意味著DG5蝦體內的發電廠（粒線體代謝）運轉旺盛，能提供充沛的ATP能量來支

持快速生長。研究中特別指出，DG5組蝦子的丙酮酸脫氫酶複合體和 α -酮戊二酸脫氫酶活性提升，讓三羧酸循環（TCA循環）更有效率地跑起來。這就像提高引擎效能，讓燃料（飼料中的營養）燒得更充分，產生更多馬力（能量）來推動生長。因此，即使DG5起初體型較小，仍能在高密度競爭的環境中脫穎而出、實現快速增重。這些代謝調控上的調適能力，正是DG5品系的寶貴優勢，顯示其在基因上已為高效率生長做好準備。

育種應用與展望： 打造高效白蝦的未來

透過這項研究，我們首次系統性地比較臺灣本土白蝦品系與國外引進品系在相同養殖條件下的表現差異。結果凸顯出本土DG5品系的潛力：小小的身軀蘊藏著高速成長的能量。DG5能在初始體重較低的情況下，依靠提高氨基酸利用和核苷酸合成速率，達到高增重效率。反觀外來DG10雖有體型與飼料效率上的優勢，但DG5展現的爆發力和在地適應力，為未來育種工作提供了另一種思路。

這些發現對於白蝦育種與養殖管理具有實務上的啟示。首先，代謝體學提供一套工具，可以幫助育種人員發掘與生長性狀相關的生物標記。未來或許能針對DG5品系中表現特別

旺盛的代謝途徑進行遺傳選汰或基因標記輔助選種，培育出同時具備快速生長和高飼料效率的新一代品系。其次，瞭解DG5在氮代謝和嘌呤代謝上的特性後，飼料營養配方也可望量身調整。最後，這項研究也彰顯出維持本土種質重要性的價值。DG5品系是在臺灣在地環境中經年累月篩選出的適應力強者，擁有外來品系難以複製的優點。未來透過科學育種手段將這些優良特性發揚光大，不僅可以降低對國外蝦苗的依賴，也能提升臺灣養殖業的競爭力。

結語

白蝦養殖產業要永續發展，透過科學的眼睛來審視我們的養殖對象，我們才能找出改進空間與創新方向。本研究以代謝體學為窗，讓我們窺見DG5和DG10 2種白蝦品系在體內運作機制上的差異。結果告訴我們，本土DG5品系雖然在某些指標上不及國外品系，但它蘊含的代謝潛能使其成長表現令人驚豔，同時也為養殖者和育種專家帶來新的靈感。未來，隨著我們對水產動物代謝機制了解越來越深入，或許可以培育出既有跑車的速度、又有省油車效率的“蝦種”。期待在不久的將來，臺灣的白蝦育種能結合理論與實務，創造出兼具高產、抗逆和高效利用飼料的明星品系，為水產養殖開創新的里程碑。🌱