



應用營養添加物改善虱目魚 低溫緊迫之初步評估

劉姍姍、林佳勳、楊順德 / 水產試驗所淡水養殖研究中心

前言

氣候變遷正持續影響全球性的氣候變化，除年均溫不斷上升之外，亦造成極端氣候發生的頻率及幅度增加 (IPCC SREX, 2012)，而氣候變遷使地球各地暖化速度不一，其中北極地區的升溫速度最快，導致北極與中緯度地區之間的溫差逐漸縮小。這種溫差的減少使得極地噴射氣流 (polar jet stream) 變得更弱、更緩慢，當噴射氣流變弱時，容易受到微小的溫度與壓力變化影響，導致路徑產生劇烈波動，呈現明顯的波浪狀彎曲，當彎曲程度足夠大時，原本局限於北極的寒冷空氣便可能隨著氣流大幅向南推進，侵入中緯度甚至更南方地區，造成極端寒流事件 (MIT Climate Portal, 2024)

(圖 1)，若臺灣剛好逢寒流，低溫影響的程度會更大。

依據中央氣象署農業氣象觀測歷年數據，臺灣 2021 – 2025 年中南部沿海地區的氣溫，在 1 – 3 月期間平均最低氣溫低於 15°C，1 月甚至可達 10°C 以下，而臺灣虱目魚的養殖型態包含深水式專養及文蛤混養，專養的養殖業者為避免魚隻凍傷，通常會在 11 月前搶收，且水深較高可以減緩受氣溫影響，魚類亦會潛伏底層避寒，然而與文蛤混養的虱目魚因文蛤池水深度較淺，水溫容易受到氣溫影響，造成虱目魚的損害。由近年的氣候變化和記錄推斷，雖然未來整體呈現氣溫上升，但仍有發生低於 15°C 以下的風險，為減少虱目魚受寒害影響，利用育種方式培育耐寒品系是一種方式，但需

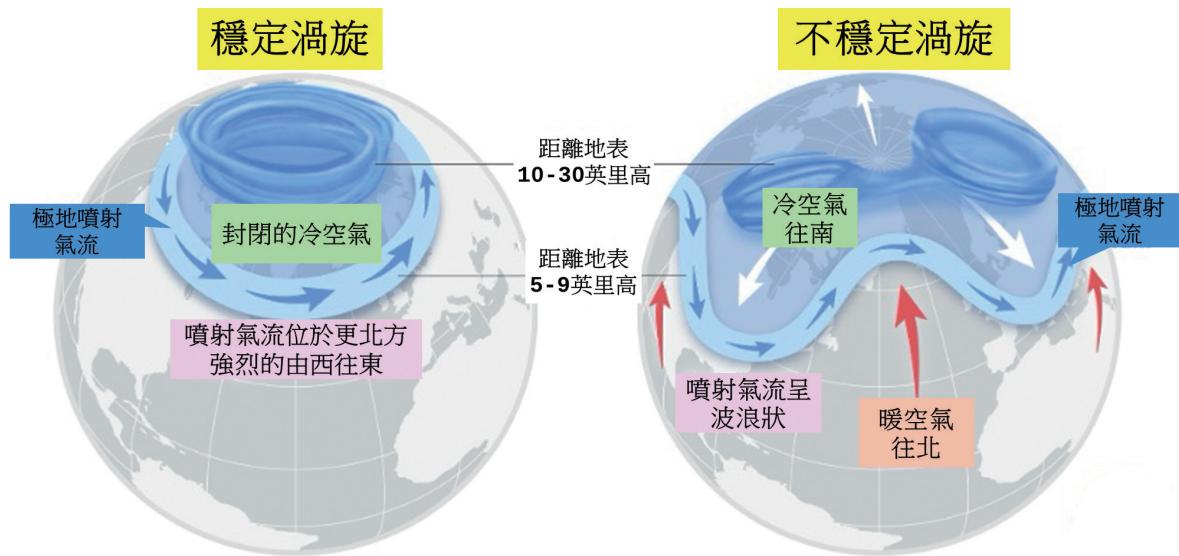


圖 1 右邊為極地噴射氣流產生波動，北方冷空氣南下 (改繪自 NOAA, 2021)

要耗費大量時間與成本，而已有文獻指出，在飼料中補充不飽和脂肪酸 (unsaturated fatty acid, UFA)、維生素等抗氧化添加劑，可以提升虱目魚在低水溫時的耐寒能力。因此，本次在飼料中補充富含 n-3 不飽和脂肪酸的油脂、大豆卵磷脂與維生素 C，以期減少虱目魚在低溫時的死亡率。

■ 材料與方法

一、試驗魚隻

以 3 吋虱目魚苗，密度為 150 尾 / 池，以 20 psu 半淡鹹水蓄養於 2 噸 FRP 桶內，先以對照組飼料投餵 2 週馴化，待體型達 4 吋大小時開始試驗。

二、分析市售商用虱目魚飼料脂肪酸

購買 3 家商用虱目魚沉性飼料分析其脂肪酸組成 (圖 2)，作為本試驗油脂補充參考。

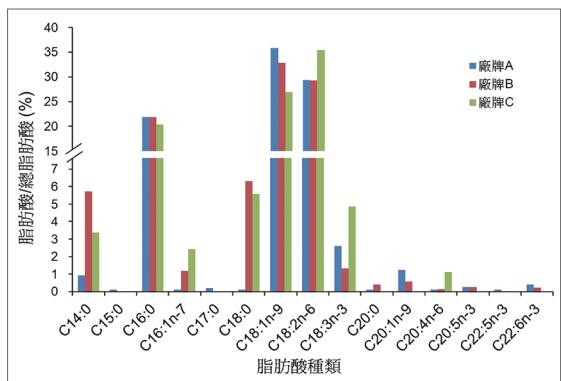


圖 2 三種市售虱目魚沉性飼料脂肪酸分析

三、試驗飼料製作與投餵試驗

實驗組油脂組成為 2% 大豆油 + 2% 魚油 + 1% 亞麻仁油 + 1% 大豆卵磷脂，並額外補充 0.1% 維生素 C，對照組則為 3% 大豆油 + 3%

豬油，其餘成分相同，於平均水溫 27°C 條件下，每日投餵魚體重 3%，共投餵 8 週，並在不同週數取背肌進行脂肪酸分析，以及進行低溫挑戰試驗。

四、低溫挑戰試驗與緊迫指標分析

降溫試驗於透明壓克力恆溫水槽中進行，魚隻先自 FRP 桶移至水槽內，並以冷水機每小時 1°C 的速率降溫至 20°C，1 天內水溫溫差不超過 10°C，並於 20°C 適應 1 晚，隔日繼續降溫，最終水溫設定為 15°C 停留 48 小時後再回溫，最終水溫為參考 Hsieh 等 (2003) 之虱目魚低溫緊迫試驗致死溫度。另外亦參考林等 (2011) 對魚類低溫緊迫時之行為反應分成 0 – 6 級，本試驗魚隻冷昏迷以 stage 5 為計算標準，死亡以 stage 6 為計算標準，數字越低代表魚隻行為越正常。每組各 12 尾共三重複，降溫期間紀錄魚隻冷昏率與死亡率，並抽血分析皮質醇，每組各 5 尾。

五、統計方式

對照組與實驗組之間以獨立樣本 t 檢定 (Independent sample t-test) 進行統計分析；不同投餵週數間以單因子獨立變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA) 統計分析。

■ 結果與討論

一、商用虱目魚飼料脂肪酸分析

三種市售虱目魚沉性飼料中，脂肪酸皆以油酸 (oleic acid, C18:1n-9)、亞麻油酸 (linoleic acid, C18:2n-6) 及棕櫚酸 (palmitic acid, C16:0) 為主，油酸在總脂肪酸內平均佔



比最高為 31.84%、亞麻油酸為 31.31% 與棕櫚酸為 21.40%，相較之下，n-3 系列的不飽和脂肪酸，如 EPA (eicosapentaenoic acid, C20:5n-3) 與 DHA (docosahexaenoic acid, C22:6n-3) 佔比偏低，皆不到 1%，故本研究試驗飼料為補充富含 DHA 與 EPA 的魚油，以及富含 C18:3n-3 的亞麻仁油，以提升魚體內 n-3 系列不飽和脂肪酸的含量。

謝 (2005) 研究發現，6 種市售虱目魚飼料中以 C16:0、C18:1n-9 及 C18:2n-6 含量為最多，與本研究分析結果相符。飼料油脂原料分為水產動物油、動物油及植物油，水產動物油富含 n-3 不飽和脂肪酸，動物油是以飽和脂肪酸及單元不飽和脂肪酸為主，植物油則偏向 n-6 不飽和脂肪酸，故推斷虱目魚飼料油脂應以植物油和動物油為主。

因此，本研究試驗飼料特別補充富含 DHA 與 EPA 的魚油，並添加富含 C18:3n-3 的亞麻仁油，以提升飼料中 n-3 系列多元不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFA) 之比例。根據脂肪酸分析結果 (圖 3)，試驗飼料中 n-3 PUFA 佔總脂肪酸比例較對照飼料增加 1.12%，主要包括 C18:3n-3、C20:5n-3 (EPA) 與 C22:6n-3 (DHA)。

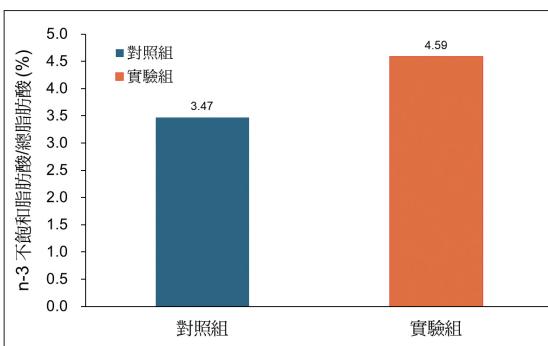


圖 3 本研究自製試驗飼料 n-3 PUFA 分析

二、試驗飼料對虱目魚之耐寒效果

(一) 水溫 15°C 下，24 小時內

虱目魚持續暴露於 15°C 低溫環境下，24 小時內尚未觀察到死亡，但會陸續出現冷昏迷現象，本研究投餵不同週數皆可減少冷昏迷比例，第 4 週時差異最為明顯，對照組冷昏迷率為 36.11%，而實驗組降至 5.56%；至第 8 週，冷昏迷率亦由 13.89% 降至 8.33%，維持改善趨勢，相對第 4 週低。

(二) 水溫 15°C 下，超過 24 小時後

原本冷昏迷的魚隻開始出現死亡，持續 48 小時後之平均累計死亡率如下，第 2 週兩組間無差異，皆為 5.56%；投餵 4 週時對照組與實驗組間差距最大；第 8 週亦觀察到實驗組死亡率下降 (圖 4)。

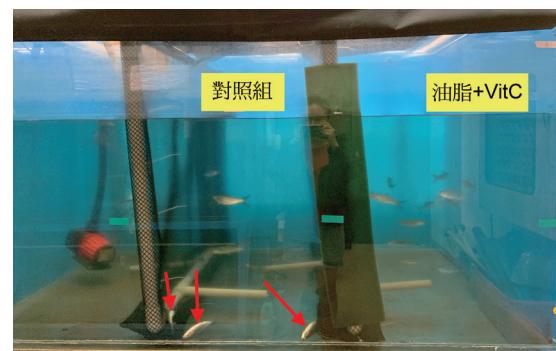


圖 4 對照組之虱目魚已有部分魚隻明顯凍昏 (紅色箭頭處)

(三) 水溫回溫至 22°C 後第 3 天

投餵試驗飼料 1 週以上皆可減少虱目魚延遲性死亡 (表 1)，雖然同週數內比較未達統計上顯著差異，但經單因子變異數分析 (ANOVA) 後顯示，投餵 4 週組與 1 週 ($p < 0.05$) 及 2 週 ($p < 0.05$) 組之間具有顯著差異，而投餵 4 週與 8 週組相比則無顯著差異 ($p > 0.05$)，因此，投餵 4 週即能達到與 8 週相近的效果，從成本與操作角度而言，屬於相對經濟可行的策略。

表 1 回溫後 3 天之平均累計死亡率 (%)

| | 對照組 | 實驗組 |
|-------|-------|-------|
| 第 1 週 | 13.89 | 2.78 |
| 第 2 週 | 27.78 | 13.89 |
| 第 4 週 | 77.78 | 47.22 |
| 第 8 週 | 58.33 | 41.67 |

(四) 小結

試驗飼料中添加之維生素 C 具抗氧化作用，可參與羥化反應 (hydroxylation)，為膠原蛋白合成與傷口癒合的重要因子，有助於魚體修復因低溫凍傷造成的組織損傷，根據 Lu 等 (2019) 研究，在魚類細胞中添加 25 mM 維生素 C，可顯著降低低溫緊迫誘發之氧化壓力，恢復魚體對低溫的耐受力，顯示維生素 C 具提升魚體低溫活存率之潛力。

此外，根據 Hsieh 等 (2003) 研究顯示，虱目魚在 15°C 環境下，其血脂含量隨暴露時間拉長而上升，至第 5 天開始下降；肝臟中飽和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA) 含量隨時間顯著下降，不飽和脂肪酸則相對上升，其中多元不飽和脂肪酸上升速度快於單元不飽和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA)，推論在低溫緊迫下，虱目魚對維生素 C 與多元不飽和脂肪酸具有較高需求。

大豆卵磷脂為一種天然磷脂質混合物，主要由磷脂醯膽鹼 (phosphatidylcholine, PC) 組成，亦含有磷脂醯乙醇胺 (PE)、磷脂醯肌醇 (PI)、脂肪酸、膽鹼與少量維生素等成分。其中，磷脂醯膽鹼為細胞膜的重要結構脂質，有助於維持膜的完整性與流動性；其所含之膽鹼除了作為磷脂質的組成成分外，亦可轉化為乙醯膽鹼 (acetylcholine)，為一種神經傳遞物質，對於魚類神經訊號傳導與細胞功能調節具有關鍵作用。Hebb 等 (1972) 發現，經低溫適

應 (6°C) 之金魚，其乙醯膽鹼轉移酶對膽鹼的親和力隨水溫下降而提高，顯示魚類在低溫條件下可能需更多膽鹼以合成乙醯膽鹼，以維持正常的神經傳導機能。此外，郭等 (2023) 之研究指出，飼料中補充 0.3% 膽鹼並持續投餵 14 天以上，或添加 2.4 – 4.8% 並投餵 9 天，可有效提升午仔魚對低溫緊迫的耐受力，而本研究亦嘗試以原料級氯化膽鹼配製含 3.6% 的試驗飼料，並投餵 9 天，雖然結果顯示可降低魚隻死亡率，惟觀察到魚隻索餌意願不佳，該劑量可能影響適口性，未來可適度降低膽鹼添加量進一步優化，綜合上述結果，顯示膽鹼在低溫適應中應具有重要的生理功能。

三、緊迫指標分析

以油脂 + 維生素 C 投餵後，15°C 達 24 小時後之皮質醇含量 (圖 5)，投餵 1 週：對照組平均為 37.60 ng/ml，實驗組平均為 22.19 ng/ml；投餵 2 週：對照組平均為 34.51 ng/ml，實驗組平均為 10.28 ng/ml ($p < 0.05$)；投餵 4 週：對照組平均為 14.42 ng/ml，實驗組平均為 11.73 ng/ml；投餵 8 週：對照組平均為 40.69 ng/ml，實驗組平均為 29.26 ng/ml。Hsieh 等 (2003) 研究顯示，將虱目魚由 25°C 轉移至 15°C 下持續觀察 7 天，結果發現魚隻的緊迫指標如血醣和乳酸皆在 1 天後達到最高峰，

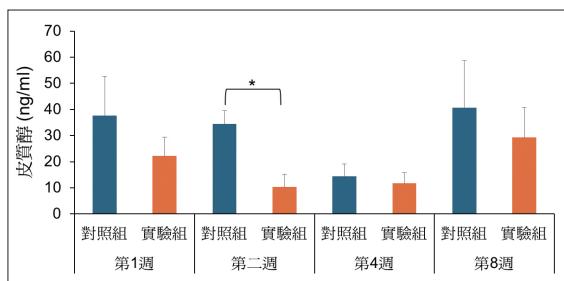


圖 5 15°C 達 24 小時後之皮質醇含量 (藍色為對照組；橘色為實驗組；*為具顯著差異)



而本研究顯示使用試驗飼料 1 週以上可減少低溫時緊迫指標皮質醇的分泌，有助於減緩虱目魚低溫緊迫。

四、虱目魚背肌脂肪分析

飼料中的油脂會影響魚體脂肪酸的組成，謝 (2005) 曾分析養殖虱目魚背肌中的脂肪酸，發現其以 C18:1n-9、C16:0 及 C18:2n-6 為主，此結果與其飼料中脂肪酸構成相符，顯示魚體脂肪酸比例會反映餵食來源的特性。而魚體脂肪可依性質分為中性脂肪 (neutral lipid, NL) 與極性脂肪 (polar lipid, PL) 兩類，中性脂肪主要以三酸甘油酯形式存在，為能量儲存的主要形式，其脂肪酸組成變動性高，容易受到食物來源影響；相對而言，極性脂肪主要由磷脂質構成，為細胞膜的重要組成成分，其脂肪酸組成會影響細胞膜的物理與化學性質，因此其脂肪酸組成相對保守 (Sushchik et al., 2020)。

本研究投餵含 n-3 脂肪酸的試驗飼料 4 週與 8 週後，魚體中性脂肪中的總不飽和脂肪酸佔總脂肪酸的比例分別較對照組提高 4.03 與 4.78%；在極性脂肪中，投餵 4 週後總不飽和脂肪酸比例提升 4.24%，但 8 週僅提高 0.78%。進一步分析 n-3 PUFA 所佔比例 (圖 6)，發現第 4 週時，實驗組在 NL 中的 n-3 PUFA/ 總脂

肪酸較對照組高出約 4%，但在 PL 中反而低於對照組 1.84%；第 8 週時，實驗組 NL 高出對照組 5.12%，PL 中則低 2.59%，推測 n-3 PUFA 雖已被魚體吸收並以儲存型脂肪形式累積於中性脂肪中，但在極性脂肪中的整合尚不顯著，可能因細胞膜脂質成分相對保守，需藉由特定生理機制調控，方能影響其脂肪酸組成。

此外，本試驗飼料除了補充魚油與亞麻仁油以提升 n-3 脂肪酸外，亦添加大豆卵磷脂，作為細胞膜所需磷脂質與膽鹼的來源，雖然極性脂肪中 n-3 PUFA 的比例並未顯著增加，但根據相關研究，磷脂質補充可支持細胞膜穩定性與神經傳導功能；在低溫挑戰中亦觀察到實驗組死亡率有下降的現象，推測大豆卵磷脂中的成分可能參與了魚體對寒冷環境的生理調適，進而提高其耐寒能力。

結語

本研究顯示，透過飼料營養調控可提升虱目魚的低溫耐受能力，2024 年本所淡水養殖研究中心水溫監測指出，池水溫度仍有低於 15°C 的天數，且最長可連續達 48 小時，特別是在啟動水車造成水體擾動時，池水降溫幅度更大，耐寒管理需求更加明顯。使用富含不飽和脂肪酸並補充 0.1% 維生素 C 及大豆卵磷脂之試驗飼料可減少低溫死亡率，死亡率相對降低幅度達 49.46%，綜合評估以投餵 4 週較佳，顯示以上成分具有作為虱目魚耐寒配方成分之潛力。綜合而言，適當的飼料設計搭配良好的低溫管理措施，將有助於提升虱目魚在戶外冬季養殖中的活存率與穩定性。

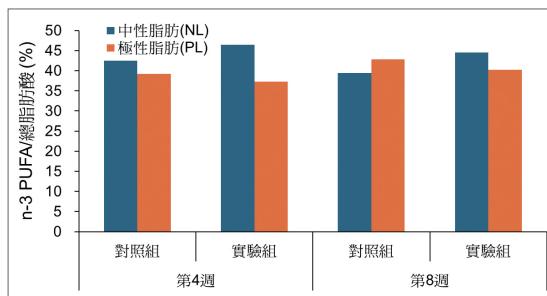


圖 6 背肌中的脂肪酸分析