

尼羅吳郭魚渡冬時之飼料脂肪酸需求及養殖對策探討

林佳勳、劉恩良、楊順德
水產試驗所淡水養殖研究中心

前言

全球人口增加使得食物蛋白質需求量提升，水產養殖在動物性蛋白質中的重要性是顯而易見的，尤其尼羅吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*) 在過去幾年產量增加了 70%，對全球的淡水養殖業產生正面影響 (FAO, 2020)。世界許多亞熱帶地區皆有養殖，包括中國、巴西、泰國、越南、菲律賓以及埃及等都是重要的生產國，吳郭魚為臺灣重要的經濟魚種，具有成長快速、環境適應力強及雜食性等優點。不耐低溫是飼養吳郭魚的一大問題，當冬季即將來臨，飼養在 22°C 下，魚隻攝食量開始減少，導致生長速率明顯下降。全球氣候變遷下，因極端氣候所引發的寒害造成吳郭魚養殖大面積的損失，低溫除了造成死亡和降低代謝率，還會阻礙魚類的免疫，水溫在魚類的脂質代謝中扮演至關重要的角色 (Glencross, 2009)。油脂對於動物的重要功能，主要有下列幾項：(1)維持及調節體溫；(2)提供熱量；(3)協助脂溶性維生素吸收；(4)構成細胞膜的主要結構；(5)保護內臟器官避免受到碰撞。脂質對於建構細胞膜具有無可取代的作用，從而在低溫環境下維持細胞的流動性和滲透性 (Weber and Bosworth, 2005)。本文將透過了解脂質代謝和飼料當中

補充必需脂肪酸，以增加細胞膜通透性，提高尼羅吳郭魚對冬季低溫的耐受性。

多元不飽和脂肪酸

多元不飽和脂肪酸 (PUFA) 大多存在於植物油和魚油中，富含 α -亞麻油酸 (α -linolenic acid, ALA) 的亞麻仁油、具有亞麻油酸 (linoleic acid, LA) 的大豆油、玉米油或是魚油裡富含的 EPA (Eicosapentaenoic acid) 與 DHA (Docosahexaenoic acid) 都屬於這一類的脂肪酸 (圖 1)，當魚投餵富含 n-3 PUFA 成分的飼料時，可以改善尼羅吳郭魚的生長和換肉率，此外，投餵富含魚油或亞麻仁油飼料的尼羅吳郭魚，具有較高的腸道澱粉酶活性 (El Asely et al., 2020)，研究表明 n-3 PUFA 可提高腸道對於碳水化合物的消化率。在 22°C 下飼養的尼羅吳郭魚之 ALA

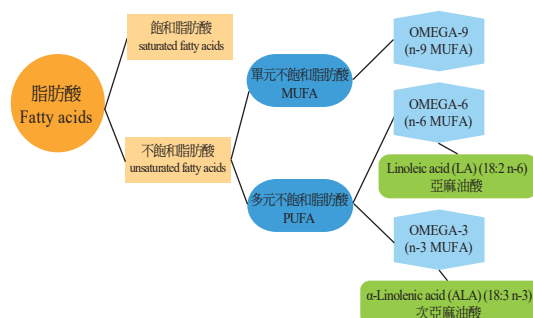


圖 1 脂肪酸的簡單分類

每日需求量 (0.68—0.70 g 飼料乾重/100g 魚體重) (Nobrega et al., 2017) 高於在最佳飼養溫度下飼養的魚 (0.45—0.64 飼料乾重/100g 魚體重) (Chen et al., 2013)。在接近冬季低水溫飼養的條件下，各項研究都表明尼羅吳郭魚每日飼料量比例需要較高的 n-3/n-6 脂肪酸，國外已有相關研究成果 (表 1)。另外有研究報告指出，飼料中添加過量的 ALA 會對飼養在最佳飼養溫度下的尼羅吳郭魚之生長、飼料利用率和抗氧化能力產生負面影響 (Chen et al., 2013; Nobrega et al., 2017)。本中心利用配方飼料提高吳郭魚對低溫的耐受力，試驗組分為 2 組：脂肪酸添加組—飼料中添加 2% 魚油 + 2% 玉米油、脂肪酸添加維生素 C (100 ppm) 組，進行 8 週投餵與採樣，並模擬寒流降溫試驗，對照組活存率 $43.5 \pm 16.4\%$ ，脂肪酸添加組為 100%、脂肪酸添加維生素 C 組為 $92.6 \pm 7.3\%$ ，試驗組分析肝

臟所含 n3 系列高度不飽和脂肪酸 (n3-HUFA) 及 n6 系列高度不飽和脂肪酸 (n6-HUFA) 皆高於對照組 (圖 2)。因此，考慮生長過程期間的營養需求，需針對不同季節期間策略性的添加 n-3 PUFA 於飼料當中，以改善冬季的生長及飼料利用率，並提高魚隻對低溫的耐受力。

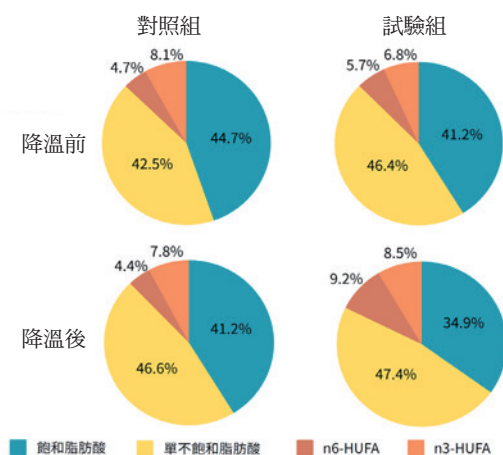


圖 2 降溫試驗前後的肝臟脂肪酸組成

表 1 尼羅吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*) 必需脂肪酸需求量相關研究彙整

脂 肪 酸	飼 料 脂 質 來 源	水溫 (°C)	週數	結 果	文 獻 來 源
亞麻油酸、次亞麻油酸、花生四烯酸、n-3 長鏈多元不飽和脂肪酸	4% 單元不飽和脂肪酸 + 1% 多元不飽和脂肪酸	20	4	增重效率低，無顯著差異	Teshima et al., 1982
亞麻油酸、次亞麻油酸、花生四烯酸	4% 飽和脂肪酸 + 1% 多元不飽和脂肪酸	20	9	攝食量低，增重效率低，飽和脂肪酸過量	Takeuchi et al., 1983
亞麻油酸、次亞麻油酸、n-3 長鏈多元不飽和脂肪酸、飽和脂肪酸	6.40% 魚油或 8.2% 大豆油或亞麻仁油或牛油	22	14	成長無顯著差異，魚油使用低濃度的 n-3 長鏈多元不飽和脂肪酸和高濃度的 n-6 長鏈多元不飽和脂肪酸	Bozaoglu and Bilguven, 2012
亞麻油酸和次亞麻油酸	混合油 (0.19% 棕櫚油 + 3.09% 橄欖油 + 0.32% 葵花油 + 1.40% 亞麻仁油)	22	14	顯著提升增重效率，有明顯的蛋白質保留率及飼料效率	Nobrega et al., 2017
n-3 多元不飽和脂肪酸	5% 魚肝油	22	12	顯著提升增重效率，有明顯的蛋白質保留率及飼料效率	Corrêa et al., 2018
亞麻油酸、DHA	1.65% 豬油和 1% <i>Aurantiochytrium</i> sp. meal	22	13	顯著提升增重效率，有明顯的蛋白質保留率及飼料效率	Nobrega et al., 2019
n-3 長鏈多元不飽和脂肪酸、n-3 長鏈多元不飽和脂肪酸 + 亞麻油酸	4% 魚油或混合油 (2% 魚油 + 2% 玉米油)	25	8	顯著提升增重效率	Abdel-Ghany et al., 2019
n-3 多元不飽和脂肪酸、亞麻油酸	40 g/kg 魚粉和 7 g/kg 亞麻仁油	21.5	2	顯著提升成長表現、腸道澱粉酶活性上升和生長激素上升	El Asely et al., 2020
n-3 多元不飽和脂肪酸、亞麻油酸	40 g/kg 魚粉和 7 g/kg 玉米油	21.5	2	顯著提升成長表現	El Asely et al., 2020

資料來源：Nobrega et al., 2020

一般來說，高含量飽和脂肪酸 (SFA) 的飼料組成會導致油脂流動性降低和黏度增加，對脂質消化率和代謝產生負面影響 (Nobrega et al., 2019)；根據 Turchin 等 (2009) 說法，脂質對於吳郭魚適口性影響不大，尤其在低溫緊迫的情形下，SFA 的消化率低於 PUFA 以外，飼料中高含量 SFA 可能會對單元不飽和脂肪酸 (MUFA)、PUFA 和飼料脂質的消化率產生負面影響。同樣屬於 SFA 的棕櫚酸 (C16:0)，其脂肪酸消化率從 28°C 時的 70.81% (Fernandes et al., 2019) 下降到 22°C 時的 52.25% (Nobrega et al., 2019)。

磷脂質

磷脂質是構成細胞膜的主成分，維持細胞的滲透壓恆定以外，脂肪酸組成的不同，能影響其適應環境溫度的改變，PUFA 和 MUFA 的比例增加，SFA 比例減少，以維持流動狀態，從而使細胞膜能正常發揮作用，關於磷脂質的生化結構，絕大多數是磷酸甘油酯，具有共同的主鏈—磷脂酸 (phosphatidic acid, PA)，由 L-甘油 3-磷酸形成，其在 1 和 2 位上有兩個脂肪酸被酯化。魚類組織中的磷脂酰膽鹼 (phosphatidylcholine, PC，俗稱卵磷脂)、磷脂酰乙醇胺 (phosphatidylethanolamines, PE)、磷脂酰絲胺酸 (phosphatidylserine, PS) 和磷脂酰肌醇 (phosphatidylinositol, PI)，分別由膽鹼、乙醇胺、絲胺酸和肌醇等鹼基的酯化形成。至於脂肪酸，通常 SFA 或 MUFA 在 sn-1 位被酯化，而 PUFA 在 sn-2 位被酯化 (Tocher et al., 2008; Nelson and Cox, 2014)。魚類對於低溫適應也與 PE:PC 比例的增加有

關，分析已適應寒冷的虹鱒肝臟組織發現，與 PE 相關的不飽和脂肪酸與飽和脂肪酸比例從 20°C 時的 3.50 上升到 5°C 時的 5.10，而相應較小 PC 的比例增加了 1.98—3.13。作者認為，PE 的累積及較高濃度的 PUFA 可能代表在低溫下增加細胞膜額外適應的能力。

研究報告指出，在魚類和甲殼類飼料中補充磷脂質對生長、預防畸形、活存、抵抗高溫或低溫緊迫、營養吸收和體內脂質分布有益處 (Poston, 1990; Coutteau et al., 1997; Kanazawa, 1997; Cahu et al., 2003; Dapr'a et al., 2011; Zhao et al., 2013)；特別是雜食性魚類，草魚幼魚 (9.34—87.50 g 魚體重) 在 26°C 的飼養環境中，當半純化飼料 (semi-purified diets) 中含有較高比例的卵磷脂，會在魚的腸道和鰓形成物理屏障，調節免疫反應並促進生長 (Chen et al., 2015; Feng et al., 2017)。實際應用中，磷脂酰膽鹼是磷脂質來源中最常見的水產飼料成分。目前，水產飼料中最常用的磷脂質來源是從大豆油中提取的大豆卵磷脂，取得容易、價格相對便宜。飼料中添加 400、800 或 1,200 mg/kg 的卵磷脂，尼羅吳郭魚幼魚 (初始體重 7.10 g) 在 27°C 下投餵 60 天，可以促進生長、提高能量代謝並具有保肝作用 (Baldissera et al., 2019)。

飼料比例

飼料中營養成分比例與餵食的策略息息相關，均衡的營養比例固然重要，根據季節不同去調配各項營養需求，影響的因素很多，例如魚體大小、水溫、投餵頻率、是否需要過冬、繁殖期等。無論飼養溫度如何，

歐洲鱸 (*Dicentrarchus labrax*) 最佳生長的蛋白質需求量相似，但攝食量在 15°C 時較低，每 100 g 魚體重的每日絕對蛋白質需求量也較低，在 15°C 時為 0.53 g，20°C 時為 0.78 g (Hidalgo and Alliot, 1988)。水溫越低，代謝率越低，從而減少蛋白質的需求和利用。據推測，隨著水溫的升高，魚類的蛋白質需求量可能會隨著代謝率的提升而增加 (Singh et al., 2008; Qiang et al., 2013)，以尼羅吳郭魚來說，當水溫保持在 27°C 且蛋白質範圍為 25–38% 時，進行 *Streptococcus iniae* (1×10^8 CFU/ml) 感染的魚類死亡率最低，當蛋白質含量超過 38% 時，死亡率開始增加 (Qiang et al., 2013)，低溫緊迫導致魚類免疫力、代謝率和生長速度下降 (Chang et al., 2006)，由於飼料僅維持正常生理機能，所需的能量資源有限，這可能會增加低溫緊迫時所引起的冷昏迷或是死亡。

碳水化合物提供主要的能量來源，代謝酶基因中與溫度相關的變化顯示碳水化合物產生糖解作用時，可能會增加能量及提高脂質代謝 (Zhou et al., 2019)，因此，在飼料中提高碳水化合物和脂質的比例，可以透過改變能量代謝來提高尼羅吳郭魚的耐寒性，加上低溫條件下攝食量和能量代謝會降低，需針對尼羅吳郭魚設計適合秋冬季節使用的飼料；Cho 和 Jo (2002) 以尼羅吳郭魚 (魚體重 13 g，飼養在 17.7–23.5°C) 評估了兩種不同飼料能量含量的影響：低能量 (蛋白質 37%、脂質 6%、3.84 千卡/克飼料) 和高能量 (蛋白質 35%、脂質 16.6%、4.27 千卡/克飼料) 投餵 13 週，以低能量飼料投餵之魚的體重增加、生長效率、飼料效率和蛋白質保留率顯

著更高；研究顯示尼羅吳郭魚在此溫度下無法有效利用高能量飼料，低溫條件下能量代謝較低 (Zhou et al., 2019)。因此，高能量飼料可以作為秋季飼料，為魚類過冬做準備。

冬季低水溫養殖對策

低水溫會影響尼羅吳郭魚的新陳代謝，尤其寒流來襲可能增加死亡率，為避免尼羅吳郭魚於冬季養殖期的損失，需制定冬季的養殖對策，面對突發性寒流時有緩衝能夠調整狀況，養殖水溫低於最佳生長溫度的情況下，魚類會根據溫度條件的變化進行生理和代謝調整，從而影響生長表現，在低水溫的條件下，尼羅吳郭魚不像夏季一樣積極攝食。Roy 等 (2019) 在冷水溫控系統中針對兩種淡水魚類鱖魚 (*Pimephales promelas*) (6°C) 及金閃魚 (*Notemigonus crysoleucas*) (8°C) 試驗 3 種餵食方式：每週 3 次、2 週 2 次或每月 1 次至飽足，研究結果顯示，隨著餵食頻率降低，與試驗初始相比 SFA 的量下降，PUFA 則有所增加，並觀察到兩個物種皆會在低水溫下保存 PUFA 在魚體中，且投餵頻率可以影響 PUFA 在魚體中的累積，鱖魚在餵食試驗期間，每週餵食 2 次的魚體重增加，其餘方式體重減輕，SFA 和 MUFA 的量均較試驗初始時下降，與每週餵食 2 次的魚相比，每週餵食 1 次和每月餵食 1 次的 24:1n-9 顯著增加，此結果表示，選擇性的將這種脂肪酸納入細胞膜可能有助於度過冬季；金閃魚在餵食試驗期間，三種餵食方式的體重皆減輕，LA 的含量則隨著投餵頻率的降低而降低，此結果意味著 LA 可能被用作

在低溫條件下的代謝能源，而 DHA 則被保留用於低溫條件下的細胞膜和神經組織；當投餵頻率降低時，鱸魚和金閃魚全身 n-3 PUFA 的含量都上升，特別是 DHA 的增加較為顯著。透過投餵頻率的控制，保持 PUFA 的含量，使魚隻面對寒流時有足夠能量去抗衡，降低死亡，以減少冬季養殖期的損失。

滲透調節對於魚類生理甚至生命至關重要，並且低溫會影響尼羅吳郭魚的滲透調節機制 (Shi et al., 2015)。Zale 和 Gregory (1989) 使用歐利亞吳郭魚 (*Oreochromis aureus*) 幼魚，透過每天降低 1°C 直至魚死亡來測試鹽度從千分之 0 到 35 的活存，與在較高或較低鹽度水中飼養的魚相比，在等滲介質 (11.6 psu) 中飼養的魚在較低溫度下的活存率更高。當埃及的尼羅吳郭魚品系 (重量為 8–10 g) 飼養在 25°C 並直接轉移到 14°C 時，一些生理反應證明與淡水 (0 psu) 中飼養的魚類相比，接近等滲透壓的鹽度 (12 psu) 可能會改善魚的低溫耐受性 (Assem et al., 2013; Hassan et al., 2013)。研究結果顯示，有預先適應或轉移到低溫等滲介質的個體中，在整個試驗時間內肌肉脂質含量幾乎保持不變；與飼養在淡水中的魚相比，轉移到低溫後肌肉脂質下降約 20%，推測下降原因是為動物的新陳代謝提供能量。可以得知與飼養在較高或較低鹽度中的魚相比，飼養在接近等滲鹽度中的魚能夠具有更好的生理功能 (Hassan et al., 2013)，並且對低溫的耐受力更強。對於靠海的吳郭魚養殖場來說，在養殖池水中營造等滲鹽度是一種可行的方式。

魚類會自然地選擇最適合其生理需求的棲息地，當溫度降低或升高超出其理想範圍

時，就會選擇進入更深的水域 (Danand Little, 2000)。調節池塘深度，使魚類能夠進入更深的水域，以滿足其對熱的需求 (Mabdel-Aal, 2008; Dan and Little, 2000; El-Sayed et al., 1996)。在中國，冬季飼養吳郭魚建議池深為 2–2.5 m (Lin, 1991)，同樣，在巴西南部 and 東南地區，使用 2–3 m 深的池塘養殖，越往南，所需的池塘深度就越深；在 3 m 深的池塘中，當水溫降至 5–13°C 時，魚類會移動到池底，避免接觸低溫的池水，死亡率降低 21% (El-Sayed et al., 1996)。這些研究顯示，池塘深度的調整能夠促進尼羅吳郭魚的正向體溫調節，是適合在亞熱帶地區進行的冬季養殖對策。

結語

所有動物和植物的細胞膜都是由脂肪酸和磷脂質等主要類別的成分組成，影響所有生命必需的生理平衡。在低溫下，如果沒有提供富含高度不飽和脂肪酸的磷脂，細胞膜的流動性就會降低，導致水分、氣體和蛋白質的交流減少，進而影響生理。考慮到冬季死亡率是臺灣寒流來襲時吳郭魚經濟損失的主要原因之一，使用適合的營養補充如脂肪酸、磷脂質等，設計適當營養比例的冬季飼料可以調節尼羅吳郭魚對低水溫反應的耐受性，擬定冬季養殖對策，針對不同季節有不同的應對方式，並採用適當的養殖管理、維持魚類的生理健康，透過調整飼料中的營養成分來著手，使魚類能夠更好應對一年中環境溫度變化，達到精準餵食的概念，對於尼羅吳郭魚的活存及產量產生正向影響。