



魚類飼料的營養問題與研發策略 (上)

劉富光

水產試驗所淡水繁殖研究中心

前言

魚類屬於變溫動物，在維持水溫極困難的水域環境裡，可加大其對能源的利用率。但是，體溫的改變對整個生物能調控 (bioenergetic regimes) 影響很大，因此，魚類營養需求會隨養殖環境而改變。由於魚類必需適應不同的棲息環境，其營養需求便因此多所受限。此外，魚類營養需求的多樣性以及養殖者與魚類之間的有限互動，也侷限了飼料的種類及其投餵方法。目前全世界養殖魚類多達 170 種以上且各具不同食性，因而阻礙了飼料生產工廠化的發展。

人工配合飼料與傳統的生餌相較，有減少病原引入以及便於飼養管理等二大優勢，而使得人工飼料的使用逐漸普及化。但飼料的開發，需考量下列各項因素：(1)如營養不均，恐造成無效甚或有害的飼料；(2)對野生魚或幼苗是否符合嗜口性；(3)飼料的穩定性、大小、密度（浮性或沉性）及泡水後的完整等問題；(4)飼料的製作、加工及輸送模式等技術。

有鑑於此，當前養魚飼料被挑剔的理由可歸納為：(1)配方源自動物飼料；(2)過多的營養物質排放於水域環境；(3)養殖產品可能的有機污染。因而，針對上述缺失，今後養魚飼料的開發似應朝下述方向努力：(1)符合

魚類的營養需求；(2)降低飼料成本；(3)減少對環境的衝擊；(4)提升養殖產品品質。茲就魚類的主要營養需求與飼料組成成分，分別探討飼料開發的因應對策，以供參考。

蛋白質

一般魚類的蛋白質需求量約在 20—55% 之間，比起豬 (17—20%)、家畜 (14—23%) 及脊椎動物 (15—20%) 等都高。因為魚類是變溫動物且可免去重力因素，因而得以降低能量需求，故其對蛋白質的需求量比對其他的營養成分高。由於蛋白質價格較貴，因此，飼料的開發首先要考量成本效益。蛋白質是機體組織結構的主要組成，也是合成機體內一些主要物質（激素、酶）的原料。如果蛋白質含量過低，會導致成長慢、飼料效率低及免疫力下降。相反的，倘若蛋白質含量過高，則會降低蛋白質消化率而增加排出量，致使水體的氨含量過高而抑制魚的成長以及引起肝功能及代謝失調。

蛋白質合成與分解兩個過程的可逆反應非常複雜，一般稱為蛋白質周轉代謝 (protein turnover, PT)。影響 PT 的內在因素大致有：(1)魚種不同或同種不同基因的魚，其 PT 也不同；(2)隨年齡增加，PT 會降低；(3)不同的組織，PT 也不同（肝胰腺蛋白最快，

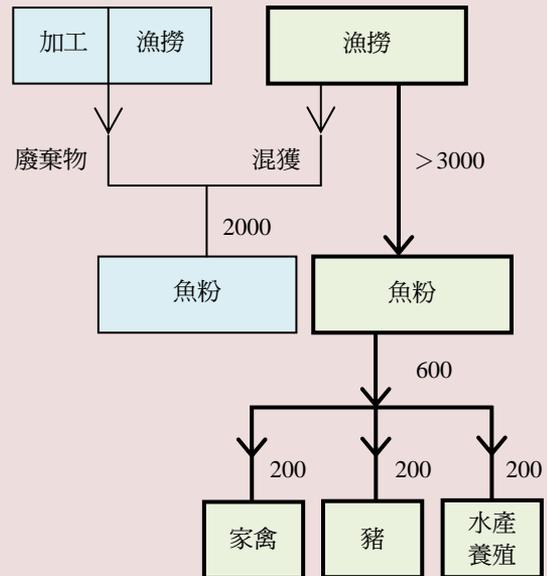
肌肉較低)；(4)性成熟時，PT 高，主要原因係卵巢需大量能量與胺基酸。

至於 PT 的調控因子則有：(1)營養－與攝食率、飼料蛋白質能量比、蛋白質含量、胺基酸平衡與供給形式、維生素及微量元素等有關；(2)激素－胰島素及生長素可促進蛋白質合成而兒茶酚胺及皮質激素則可促進分解；(3)環境－溫度升高，PT 會提升。運動可提升 PT，例：虹鱒在每秒一個體長的游速下，可促進生長。水質中含氮高，PT 高；pH 值低，PT 也低。

魚類如同陸生動物一般，需要補充自身無法自行合成的 10 種胺基酸稱為必需胺基酸 (essential amino acids, EAA)。決定飼料 EAA 的需要量，涉及結晶胺基酸或純蛋白質的利用，此過程既曠日費時又耗本，因之，飼料配方乃轉向粗蛋白質需求量之探討，而發展出現今富含蛋白質的商業用飼料。在這種富營養的飼料中，有些魚體組織合成並不需要的蛋白質或胺基酸，則會分解為能源或排入水體而造成環境的優養負擔。因此，應加強 EAA 需求量之研究，以取代當前過量蛋白質的飼料使用。果真如此，則有保護蛋白源、提高養殖生產效率及減少對環境的負面衝擊等好處。

然而在 EAA 需求量尚未明確前，因魚粉與魚體胺基酸成分接近，易於消化吸收利用而有益於魚的成長，被視為理想的蛋白源。目前，全世界魚粉每年生產量約 600 萬公噸，豬、家禽及魚的使用量相當，但今後的需求量會逐年增加，預估至 2015 年將達 900 萬公噸。緣此，似乎可從漁撈的混獲或漁撈與加工之廢棄物中，找尋其他便宜又不影響

資源保育的動物性蛋白源。當前，混獲或棄廢物佔漁業捕撈量的 25%，約 2 千萬公噸，不失為廢物利用、低價蛋白替代源 (如圖)。



魚粉的生產及其利用 (單位：萬公噸)
(粗線：目前魚粉生產源；細線：可新增魚粉生產源)

由於魚粉貨源有限，未來可能影響養殖等產業發展，而且魚粉品質也因魚種、季節、水域、加工等而有所差異。加之，海水魚製成魚粉，又有污染的可能，如：多氯聯苯、戴奧辛及其他有毒化合物等會殘留在養殖魚體內。尤有甚者，據調查，養殖 1 kg 的肉食性魚類 (石斑等) 需耗費 5 kg 的漁獲做飼料魚粉，一般平均飼養每公斤的魚要用 1.9 kg 天然捕撈魚，此情況顯然不合乎能量轉換之原則 (如表)。因此，解決動物性蛋白源的另一途徑，即以植物性蛋白源來替代。但植物蛋白雖富含碳水化合物，卻缺乏 EAA 及多少含有抗營養化合物 (antinutrient compounds)。以黃豆為例，雖被認為價廉且有足夠粗蛋白、胺基酸，卻含有低量離胺酸 (lysine) 與

世界 10 項主要養殖魚貝類利用野生魚作飼料的生產情形

養魚貝類	年產量	以飼料產出之重量 (a)	飼料產出比年產量 (%)	飼料中魚粉比例 (%)	飼料中魚油比例 (%)	平均飼料轉換率	作魚粉的野生魚重 (b)	b / a
海水魚類	754	377	50	50	15	2.2	1,944	5.16
鰻魚	233	117	50	50	10	2.0	546	4.69
鮭魚	737	737	100	45	25	1.5	2,332	3.16
鱒魚	473	473	100	35	20	1.5	1,164	2.46
吳郭魚	946	331	35	15	1	2.0	460	1.41
虱目魚	392	78	20	10	3	2.0	74	0.94
鯰魚	428	351	82	10	3	1.8	296	0.84
鯉魚								
A.人工飼料	6,985	2,445	35	8	1	2.0	1,834	0.75
B.天然餌料	5,189	0	0	-	-	-	-	-
海水蝦類	942	725	77	30	2	2.0	2,040	2.81
貝類	7,321	0	0	-	-	-	-	-
合計	24,400	5,634					10,695	1.90

資料來源：Rosamond L. Naylor et al. (2000)

單位：千公噸

甲硫胺酸 (methionine)、高纖以及一些抗營養化合物，如：蛋白酶抑制體 (protease inhibitors)、凝集素 (lectins)、植物酸 (phytic acid)、皂素 (saponins)、植物雌激素 (phytoestrogens)、抗維生素 (antivitamins) 和過敏劑 (allergens) 等，因而降低替代的可行性。茲舉幾個例子說明。

以黃豆粉替代魚粉，可能對魚的某一成長階段有益，但對另一階段則不然。例如：河鯰餵以 50% 替代黃豆粉，對成長或活存率沒有不良影響。但因黃豆粉含植物雌激素，它是一種內分泌的裂解物，會導致內分泌失調而影響河鯰的成熟產卵。

源自豆類的胰蛋白酶 (trypsin) 抑制素，對有些魚的飼料利用或成長有負面效果，有些則無影響。

植酸磷 (phytate) 的結合作用會限制魚類對礦物質的使用率，使得飼料效率及成長降低，甚或引發魚類的白內障。因此，如用

50% 黃豆粉取代的飼料，可以添加礦物質來克服此缺失，但如果養殖魚攝取礦物質的量減少，則排出至環境的量變多，會引起水域磷含量過高而產生優養化現象。

有鑑於此，目前為避免植物蛋白所引起抗營養反應的方法有：(1) 以加工方式破壞抗營養化合物 (加熱與萃取)；(2) 添加酵素 (例：植酸酶 phytase) 來分解植酸磷，增加磷的利用率；(3) 利用基因改造的麥、油籽等原料 (GMO 產生的低植酸磷品系的豆類，含 5—50% 傳統種子的植物酸濃度)。

上述方法將是替代動物性蛋白源最經濟、環保，而又具營養的可行方案。另有一些商業化 SCP (single cell protein) 產品可取代高達 50% 動物蛋白源，雖深具發展潛能，但目前尚屬萌芽階段。

脂質與脂肪酸

脂質與脂肪酸參與魚體每個生理過程，所以，飼料中之含量及成分佔整體營養的大部分。由於魚類無法利用高含量碳水化合物飼料，脂質及脂肪酸便成為主要的代謝能源。有些脂肪酸異化為能源，有些則儲存另作他途。攝取高度不飽和脂肪酸 (HUFA) 是魚類生理所必需的。例：魚類無法合成亞油酸 (linoleic acid) C18:2n-6 及亞麻油酸 (linolenic acid) C18:3n-3，因此，它們是屬於由食物攝取的必需脂肪酸 (EFA)。另外，長鏈的 EPA (C20:5n-3)，DHA (C22:6n-3) 及 ARA (arachidonic acid) (C20:4n-6) 也是屬於主要的 HUFA。ARA 係 20 碳 4 烯酸，是內生性激素 (eicosanoids) 的前體 (趨) 物，此激素與心血管的調節、免疫與發炎反應、腎與腦神經及生殖等生理有關，而在魚的神經及眼組織可發現大量的 n-3 脂肪酸。由此可見，飼料中添加脂肪酸符合養殖生物的營養需求。此外，飼料脂質成分會影響產卵，例：脂肪含量由 12% 增加到 18%，會使臭都魚產卵量增加。如果 EFA 缺乏、含量不足或過高等則卵與仔魚的質量會降低。

另，n-3 HUFA 會改變親魚血漿性類固醇激素含量而影響生殖功能。營養不足或不平衡，會使類固醇激素含量降低，而阻礙卵黃物質合成能力，進而抑制卵巢發育。因此，n-3 HUFA 會影響產卵量、精卵質量、胚胎及仔魚發育。一般含量在 1—3.5% 左右，但佔總脂肪酸的相對比值則約在 11—20%。此外，n-6 也很重要，過去卻被忽視。在吳郭魚生殖性能試驗中發現，n-6 比 n-3 更為重要。同時，n-3 與 n-6 的比例也被視為魚類健康的指標，所以理想的飼料應建立 DHA/EPA/ARA

之適當比值。

魚油與魚粉同樣會造成經濟與環境的負擔，因此，魚油的植物性替代油也面臨與魚粉的植物性的替代蛋白同樣的情形。有些鱸魚、鮭、鯛魚、鯰魚飼料用植物油替代的結果，在成長、活存率、飼料效率方面並未發現明顯差異，只有脂肪酸組成會改變。有些例子，則有改善魚排氧化穩定性之效果。

飼料中也許不可能完全不用魚油，但至少可取代 25—80%。脂肪酸組成的改變，尤其是 HUFA 之 EPA 與 DHA 含量的減少，會降低營養價值與消費者的接受度。飼料植物油對魚排脂肪酸組成雖有負面的影響，但卻可以在最後餵食階段予以補救，例如：比目魚 (turbot) 及大西洋鮭 (Atlantic salmon)，分別在最後養殖階段改餵 8 週、16 週魚油，可提升養殖產品的營養價值，同時也達到減少使用魚油之目的。由此可知，植物油取代魚油可降低飼料成本及舒緩對漁獲物之依賴，假使在養殖收穫前不投餵魚油，則會影響產品脂肪酸成分，所以說，如何找到與魚油營養相當的替代用油而不致影響魚肉品質，係當前飼料營養研究的一大挑戰。

碳水化合物

魚類飼料雖然不需要碳水化合物，但如添加則有降低成本與節約蛋白質與脂質使用量的效果。碳水化合物是既好又便宜的能源，但大多數魚類無法有效加以消化利用。因蛋白質、脂質的來源有限且昂貴，致使飼料添加碳水化合物的需求提高，故如何改善加工方式以提升魚類對其利用是首要課題。

就碳水化合物消化能力的角度，有二種立論：其一，冷水性肉食魚類消化道雖有澱粉酶、二糖酶、纖維酶、幾丁質酶等，因量少或缺少激素對酶分泌的控制，致無法消化碳水化合物，故一般飼料含量不超過 20%。其二，溫水性草食或雜食魚（鯰、鯉、鱒及吳郭魚）則有消化能力，其飼料添加量可高達 40%。

碳水化合物的來源及物理特性的複雜度，會影響魚類對碳水化合物的消化能力。例如：澱粉顆粒的結晶結構以麥粉最小，玉蜀黍粉次之，馬鈴薯最大。前二者易於消化，其原因係顆粒面積之增加與酶化的方便性所致。另外，前處理（膠質化或酶化）也可改善魚類對碳水化合物的消化率。其中，膠化可簡化分子結構並增加溶水性與消化率；而外源性特殊酶類的添加，則要考量製作過程與儲存的酶化穩定性。

養殖魚對葡萄糖的容忍有限，飼料中添加可消化醣類，會使鮭魚的肝臟變大及肝醣含量提高；而溫水魚則成長變差，這些負面效果係高血糖所致。肉食性魚會展現較長期的高血糖症，類似人類糖尿病，而雜食性或草食魚也有高血糖現象，但因具有強的清除率致使症狀期較短。

魚類沒有能力調節血糖，可能係己糖激酶 (hexokinase) 活力低無法引發葡萄糖激酶以及胰島素受體不足等因素。雖可借助 GMO 來調節葡萄糖，但要注意消費者的反對聲浪以及資源的分配問題。總之，碳水化合物的添加對魚飼料的開發是務實的，但需探討如何提升碳水化合物的消化利用。

註：本文主要取材自 Jesse T. Trushenski et al. (2006) North American Journal of Aquaculture, 68: 122-140.

纖維

纖維是碳水化合物組成的不消化植物，如纖維素、半纖維素、木質素等。含纖維飼料可能引起食物在腸道消化時間的縮短，使排泄量增加而降低營養的利用，其飼料含量一般低於 8%。添加纖維的飼料有助於改善排泄物而提升過濾效果，便於養殖水質管理。一般養殖排泄物佔固形物的 80%，而過濾主要係濾除水中的固形物，因此，飼料纖維對循環過濾系統成本與維護費的降低有助益。

微營養物

微營養物 (micronutrients) 包含維他命 (vitamin, Vit.)、礦物質等，雖然量少但有必要，如果缺乏會引發一些不可彌補的病症甚或死亡，但過量也可能導致毒害。(1)維他命：添加 Vit. C 或 E 有益於魚類脂質代謝的調節。增加 Vit. E 含量可改善魚排的色澤、彈性及嗜口性等，有益於產品品質的穩定性。(2)礦物質：礦物質參與生命的基本過程，魚類的需求約有 29 種，一般與魚的骨化作用及酸、鹼平衡有關。目前對魚類由水中吸收礦物質的能力尚未清楚，有些學者質疑目前所訂之需求量是否正確，所以研究它們的真正生物功能對未來量的訂定非常重要。過量的礦物質會排出而造成水域環境的優養化。此外，過濾用的硝化細菌也需要適量的礦物質，否則會限制生物過濾效果。因此，飼料添加微營養物可以提升生物過濾功效。