

飼料營養與魚體健康

楊順德、劉富光

水產試驗所淡水繁養殖研究中心

適當的營養是增進魚體成長及維持其健康的重要因素，以不同的原料配製而成的人工飼料主要是提供集約式養殖魚類所需之營養。製備飼料 (Prepared diets) 則不僅提供養殖物正常生理機能所需足量的營養素，亦供作具有增進或抑制魚類免疫反應及抗病力飼料組成分之基質。

必需營養素

一、產能營養素

(一) 蛋白質與胺基酸

蛋白質是影響水產飼料成本的最重要因素。其含量以滿足魚類成長及健康要求的最低需求量為原則，含量過高既不經濟也容易造成環境負荷；過低則會減緩魚類成長並影響其健康。魚類可經由一氧化氮合成酶將精胺酸轉成可增進巨噬細胞的細胞毒素活力及 T 細胞媒介免疫作用的一氧化氮。

(二) 碳水化合物

魚類對碳水化合物的利用率因魚種而異。一般而言，肉食性魚類對碳水化合物的利用率較差，其飼料中若含有過量的可消化性碳水化合物 (主要為澱粉)，將因肝臟中蓄積過量肝醣而對其健康造成危害。

(三) 脂質與必需脂肪酸

飼料脂質可提供魚體能量、必需脂肪酸及脂溶性維生素，然而如果添加過量反而會抑制魚體成長。另外，過量脂質也容易酸敗，飼料中含有多量不飽和脂肪酸易導致氧化，多種油質氧化物易與蛋白質、維生素及

其他飼料成分起化學反應，降低飼料營養價進而影響健康。維生素 E 特別容易受到氧化油的破壞，因此魚類如果投餵氧化油飼料常會發生細胞膜破碎、腹水及貧血等維生素 E 缺乏症。另外，免疫系統也會受到氧化油的影響，例如鱒魚餵以最低限量的維生素 C 及 E 的氧化油飼料，其巨噬細胞的趨化反應降低，在以弧菌感染後，雖然抗體產生不受影響，但累積死亡率顯著較對照組高。

二、維生素

(一) 維生素 C

維生素 C 由許多方式來影響抗病力：(1) 在生物體內扮演氫離子傳遞的還原劑，因而參與許多酵素的反應；(2) 與維生素 E 和硒共同作用，維持麩胱甘肽過氧化酶以及超氧化物歧化酶的活性；(3) 調節固醇類 (如皮質酮) 的合成；(4) 參與羧脯胺酸的合成，而羧脯胺酸是合成膠原蛋白的前驅物，與組織的再生有關，因而在魚類的外表皮屏障和傷口治療均需要維生素 C；(5) 在恆溫動物的補體活性、鐵的代謝、抗體反應以及其他的免疫反應上，維生素 C 均扮演重要角色；(6) 雖然相關報告並不一致，但一般相信維生素 C 在巨噬細胞的作用上有其功能。

許多證據顯示，飼料維生素 C 含量高過成長需求量，可增進許多魚類在感染傳染性疾病時的活存能力，可能是其有利於魚體皮膚保持完整性、提高吞噬細胞的吞噬活性與殺傷力、增進淋巴細胞的增殖和特異性抗體的產生以及提高補體活性等。左右維生素 C 影響魚類免疫表現的因素有維生素 C 的型式

與安定性、有效劑量、投餵時程及水溫等。

(二) 維生素 E

當維生素 E 添加量超過每日需求量時，可加強吞噬作用以及液性和細胞性免疫反應以作為免疫強化因子，而適當劑量的維生素 E 可強化巨噬細胞的生成、趨性化和殺菌力；若添加過量時，細胞內以過氧化方式殺死入侵微生物的能力會降低。維生素 E 的添加亦可刺激免疫生成器官的細胞增生、增加抗體產生漿細胞的數目以及刺激 T 輔助淋巴球。通常維生素 E 對哺乳動物之最適免疫反應的有效劑量，會高出維持正常成長需求量的 4—6 倍。添加維生素 E 在抵抗傳染性疾病上最明顯的效果在於以吞噬作用為主要的防禦機制，其對細胞性免疫反應很重要。

(三) 維生素 A

維生素 A 對魚類防禦反應的影響包括細胞性或液性免疫。虹鱒飼料中未添加維生素 A 或還原蝦紅素會降低總血清抗蛋白酶及典型補體之活性；而飼料中缺乏維生素 A 時，不論是否添加還原蝦紅素，均有白血球移動能力減少傾向，但是總血清免疫球蛋白、感染產氣單胞菌後的特異性免疫球蛋白、血清溶菌酶活性及巨噬細胞的呼吸爆現象則不受影響。

三、礦物質

目前已知 14 種以上的礦物質是魚類的必需營養素。飼料中某些礦物質添加量可能已超過魚類的需求，但在造成毒性的界限範圍內，可增進免疫反應。

(一) 磷

由實驗結果指出，河魴攝取磷含量不足的飼料，會降低以河魴腸道敗血症菌進行攻擊試驗的抗病力與抗體產生的能力，河魴飼料中磷含量為 0.4% 時，抗菌能力最大，含量為 0.5% 時，抗體的產生能力最佳。

(二) 鐵

鐵可增進對傳染性疾病的抗病力。在哺乳動物，鐵與運鐵蛋白之類的鐵結合蛋白鍵結，形成隔離鐵的能力，顯著影響細菌性感染的病程。開始感染時的急性反應是運鐵蛋白與循環的鐵結合，使得入侵的微生物無法利用；但過量負載鐵的血清對鐵的結合力反而可能減低，增加寄主對疾病的易感性，然而缺鐵性貧血的恆溫動物對傳染性疾病有較高的感染比例。一些與鐵鍵結的蛋白質，如轉鐵蛋白、乳鐵質及膽鐵質，已被證實會影響淋巴球的功能。鐵本身則是免疫調節物質，會影響干擾素和前列腺素的產生，缺鐵的動物其抗體產生的機能會嚴重受損。

一般市售鮭魚飼料的鐵含量約 200—350 mg/kg，其對於魚體的健康有決定性的影響。以 120、220、295 或 430 mg/kg 鐵含量的飼料投餵海水箱網養殖的鮭魚，結果投餵含鐵 120 mg/kg 者，冬季潰瘍病和魚蟲感染的發生均較其他各組來得低；另外，以弧菌作攻擊試驗，結果鮭魚的死亡率隨飼料中鐵的含量線性增加。一般魚類對鐵的需求量在 30—170 mg/kg 之間。另一方面，河魴以缺鐵的飼料會增加感染腸道敗血症時的死亡率，並降低腹腔巨噬細胞的趨化性。

(三) 硒

在眾多影響魚類免疫反應的微量礦物質中，硒特別受到重視，此係因為硒與維生素 E 的共同作用可促進哺乳動物的抗病力。飼料的硒含量及其添加形式會影響魚類的免疫反應，河魴抵抗腸道敗血症菌的最佳添加量為由甲硫胺酸硒提供硒 0.2 mg/kg 以及由硒酵母或亞硒酸鈉提供硒 0.4 mg/kg。魚隻抗體的產生大致隨飼料硒含量的增加而增加，表現最佳為餵飼硒酵母者，而餵飼硒酵母和甲硫胺酸硒均可增進巨噬細胞的趨化反應。

非營養物質

免疫賦活劑與益生菌是兩種被認為有益於魚類疾病控制的非營養素飼料添加劑，免疫賦活劑可增進寄主免疫機制，提高被病原微生物感染時的抗病力；益生菌則可降低環境中病原性或伺機性病原微生物的頻度與豐度。

一、免疫賦活劑

(一) 刺激特異性免疫反應

1. 疫苗

接種疫苗是最普遍的特異性免疫刺激方法，常用在水產養殖的是將活的滅毒細菌、死菌或細胞萃取物，以注射或浸泡的方式施用於魚類，也有將其與飼料混合經口投餵食魚隻的方式，但這只用於魚隻經過注射或浸泡疫苗後的追蹤劑量。經口投餵食的疫苗可能在消化道遭到破壞或變性而影響其效果。將疫苗作成微顆粒或將抗原以海藻酸微膠囊化再口投，均可增進免疫反應。

2. 佐劑

佐劑是與抗原同時使用的物質，可增強抗原的強度與延長特異性免疫的時間。例如佛洛倫完全佐劑，一種含有分枝桿菌死菌與其他修飾物的油性免疫賦活劑，是最早被用於魚類且具有正面效果的佐劑，它可使抗原保持在組織中且緩緩釋出，因而可提高各式特異性免疫細胞的活性。

3. 葡萄聚糖

由酵母和黴菌萃取所得的難溶性多醣類— β -葡萄聚糖，是近年來備受矚目的魚類免疫賦活劑，這些多醣類是葡萄糖單元組合而成，由酵母和菌絲黴菌而來的是 β 1-3 與 β 1-6 的結合方式，由大麥而來的是 β 1-3 與 β 1-4 的結合方式。大西洋鮭給予 β -葡萄聚糖可增加對免疫優勢抗原的抗體產量，但對於

殺鮭氣單胞菌的脂多醣層則無法抵抗。將接種疫苗的魚再注射 β -葡萄聚糖同樣可促進抗體的產生，這可能與非 T-細胞輔助的免疫機制有關。已接種疫苗的虹鱒以 β -葡萄聚糖可改善魚體的特異性免疫。

(二) 刺激非特異性免疫反應

大部分可改善魚類免疫能力的免疫賦活劑均在增進魚類的非特異性免疫反應，因為它是魚類受外來微生物侵襲時的第一道防線。一般用於分析非特異性免疫能力的方法有：細胞移動、吞噬作用與殺菌力等巨噬細胞反應、白血球數目的改變以及細胞的超氧自由基與各種酵素活性。

1. 葡萄聚糖

最常被用來增進魚類非特異性免疫反應的免疫賦活劑包括多醣體與左美素，尤以葡萄聚糖最為普遍。文獻上有關葡萄聚糖可增進魚類非特異性免疫反應的說法包括：(1)增進大西洋鮭、鯉魚、比目魚、鱒魚的溶菌酶和補體活性；(2)增加巨噬細胞的氧化能力與白血球超氧陰離子的產量；(3)美洲河鯰以 0.2% 的 β -葡萄聚糖或 2.7% 的啤酒酵母，可增進巨噬細胞和中性球的移動和吞噬作用；(4)魚類以 β 1-3 或 β 1-6 葡萄聚糖，對白血球的氧化能力和溶菌酶活性並無影響；(5)在培養液中添加海帶萃取物—海帶多醣，可刺激大西洋鮭頭腎巨噬細胞進行膜翻動和細胞擴散，並提高其胞飲作用、超氧陰離子及酸性磷酸酶活性。

2. 左美素 (levamisole)

左美素是經美國 FDA 核可作為治療反芻動物蠕蟲感染的合成藥劑。根據研究顯示，注射左美素可增加虹鱒的血清殺菌活性、補體活性、吞噬作用及自然殺手細胞的活性。浸泡左美素亦可增進鯉魚頭腎巨噬細胞的趨化性、吞噬作用及氧化能力。另，金

頭鯛銀以左美素也有類似的效果。

3. 動物性萃取物

(1)以鮑魚萃取物或幾丁質注射虹鱒可增進吞噬反應及自然殺手細胞的活性；(2)飼料中含幾丁質可增進虹鱒白血球功能，增加殺菌活性、總血清蛋白質與免疫球蛋白的含量；(3)注射幾丁質可提高鮭魚對殺鮭氣單胞菌的抗病力；(4)飼料中添加鐵鍵結糖蛋白的牛轉鐵蛋白可增進嘉鱸魚非特異性免疫反應，而提升對海水白點蟲感染的抗病力。

4. 植物性萃取物

(1)飼料中添加螺旋藻可增進美洲河鯰吞噬細胞的吞噬作用及趨化性；(2)鹿角菜膠可提升鯉魚頭腎吞噬細胞的移動力，可增進對愛德華氏菌與產氣單胞菌的抗病力；(3)富含甘露糖醛酸的海藻酸可增進大比目魚仔魚的抗病力。

5. 核苷酸

Burrells et al. 在 2001 年發表一系列有關水產飼料添加 0.03% 核苷酸混合物對魚類抗病力的影響。結果發現在以細菌作攻擊試驗前三週餵以核苷酸可提高虹鱒感染弧菌、大西洋鮭感染鮭魚貧血病毒、銀鮭感染 *Piscirickettsia salmonis* 時之抗病力。另外，飼料中添加核苷酸亦可降低大西洋鮭的海水魚虱感染，而且可增進其接種疫苗的效能。另，早在 1994 年就已有報告指出，添加核苷酸的飼料可增進吳郭魚在接種產氣單胞菌疫苗後的免疫反應。

綜合上述，研究顯示有些免疫賦活劑具有預防與控制疾病的潛力，尤其是葡萄聚糖與左美素，但在這些物質運用到水產養殖的日常操作前，還有一些因素需要徹底釐清，例如免疫賦活劑的形式、劑量、給予方式、魚種以及病原體等，這些因素都會影響使用免疫賦活劑的成功與否，其中合適的劑量特

別重要。劑量不足，不具增進免疫反應的效果；劑量太高，則可能導致免疫過度反應。

二、益生菌

益生菌曾被定義為以細菌為主可作為飼料添加劑，且有益於宿主腸道微生物相平衡的活微生物。其可能機制包括：可產生抗生物質、競爭黏附受器、營養素以及直接的免疫刺激效應。最常使用的益生菌是由成魚體內分離出細菌加以培養，再將這些合適的菌種添加在飼料中投餵同種稚魚。會產生殺菌素的乳酸菌 *Carnobacterium* sp. 是常被使用的種類。有關乳酸菌的應用實例包括：(1)大西洋鮭腸道分離出的乳酸菌，可抑制鰻弧菌或殺鮭氣單胞菌之類病原菌增長；(2)以乳酸菌滋養輪蟲再投餵大比目魚仔魚，可減少仔魚感染弧菌的死亡率；(3)飼料中添加乳酸菌或水解魚肉蛋白可降低鱈魚苗感染弧菌的死亡率。

使用益生菌於仔魚的餌料或環境水中，必需考慮控制菌體著生和增殖的問題。Gatesoupe (1994) 發現大比目魚仔魚餵以大於 2×10^7 CFU 的乳酸菌時，仔魚的活存率與乳酸菌濃度成負相關，顯示必需謹慎確認酸乳菌的添加量，以避免造成負面影響。

投餵方法影響魚體健康

傳統的觀念認為每日投餵營養完整的飼料，可使魚類的健康維持在最佳狀況，但最近在一些商業型養殖的實證經驗發現，每天飽食可能會影響魚類的健康狀況與抗病力，例如美洲河鯰一旦感染鯰魚愛德華氏菌之類的細菌性疾病，即停止餵食，以減緩嚴重的感染症暴發。

另外，投餌策略也會影響魚類的抗病力。養在池塘中的二年齡河鯰(約 0.5 kg) 予

以長達三個月的食物短缺，與飽食投餵的魚相較，可提升其對於鮭魚愛德華氏菌感染造成腸炎性敗血症的抗病力，但是同年齡惟體型較小的河鮭（約 22 g）在相同條件下，死亡率反而大增；進一步試驗發現，不餵食的魚雖然巨噬細胞指數同樣下降，但大魚的抗體產生較多，小型魚反而減少。三個月食物短缺的魚在接下來的三個月會有所謂的補償成長，最後的體重會和都有餵食的魚差不多。

一、營養條件的調控

如上所述，投餵方法會影響魚類的營養狀況，進而改變其免疫功能或延緩病原體的滋生而影響其抗病力。上述的試驗也發現，三個月食物短缺的二年齡河鮭，其循環系統中的鐵含量減少，這可能使魚體抵抗鮭魚愛德華氏菌的能力提升，因為病菌必需由寄主身上獲得鐵以持續感染。由此觀之，提高魚體中某些微量營養素的含量可能使魚易受感染，而以投餵策略降低魚體組織的某些營養素應該有助於增進抗病力。

魚類對飼料蛋白質、脂肪與碳水化合物的代謝能力，以及這些成分在魚體內的分布與蓄積有很大的差別，例如飼料中過量的可溶性碳水化合物導致虹鱒肝醣蓄積，進而影響到肝臟的功能；而美洲河鮭肝臟可蓄積的肝醣有限，投餵高含量的碳水化合物對肝功能與魚體健康並無負面影響。再如，黑斑紅鱸餵以含 15% 油脂的飼料會有超過 25% 的脂肪蓄積在肝臟，但不會影響肝功能，但有些魚類餵以高油脂飼料則會導致肝臟的脂肪浸潤。因此，飼料配方中需有均衡的產能營養素，這不僅使魚類有適合的成長與飼料利用率，也讓魚類的體成分組成在正常功能與健康的範圍內。

二、季節性的投餵策略

已知一些傳染性疾病有季節性的流行，

這是由於大多數病原菌有其最適的致病溫度範圍所致；另外，魚類是變溫動物，其生理代謝的改變與水溫變化有關，魚體的免疫機制自然也受到影響。因而，投餵方式與飼料組成也要隨著季節的變化而改變，例如，美國南方的河鮭養殖業者，在春季時會在飼料中添加多量的維生素 C。另，快速成長期的幼鮭在高水溫期移至海水中容易有頷畸形，因此在這段轉移期的前後，智利業者會在飼料額外添加維生素 C。

三、使用含藥物飼料

在大面積的養殖，飼料中添加抗生素是控制疾病最有效的方法。目前美國 FDA 核可應用於水產養殖的抗生素，有用於治療鮭科魚類的殺鮭氣單胞菌感染症與河鮭的鮭魚愛德華氏菌感染的羅美 (Romet) 與羥四環素 (Terramycin)。但因為病魚通常不喜攝餌，以口投方式給予的抗生素劑量可能不足；另外，某些抗生素會降低飼料的嗜口性，因此必須增加魚粉等含量，或減少抗生素的添加量且提高投餵率，以達到治療的有效劑量。羅美具熱安定性，可用於膨化造粒飼料；但廣效抗菌性的羥四環素是熱不安定性，運用於造粒飼料的效果有限。

一般認為飼料中添加抗生素會改變消化道的細菌相，有助於某些魚類的成長，例如虹鱒飼料中添加氯黴素、歐索林酸或四環黴素，可增進魚體對一些不飽和脂肪酸的消化率；鯉魚飼料中添加純黴素 (Virginiamycin) 亦可增進成長。飼料中添加抗生素除須考慮抗藥性與殘留問題外，長期服用對魚體的影響也應重視，例如飼料中長期添加羥四環素會造成大西洋鮭的棘條變形。

註：本文主要取材自 Delbert M. Gatlin III (2002) Nutrition and Fish Health. Fish Nutrition, 3rd edition, Elsevier Science (USA), 657-701.