

## 第三章 石斑魚營養需求與飼料開發

吳豐成

水產試驗所海水繁養殖研究中心

### 一、前言

魚類為維持自身的生命活動，必須不斷從外界環境中攝取所需要的各種營養素或含有這些營養素的食物。在水產養殖過程中，養殖環境的劇變、水質惡化、食物或營養狀態不佳等因素，都會降低魚類對環境的適應能力和對病原的抵抗力，而存在食物中的許多營養素能直接或間接藉由代謝、神經和內分泌等模式作用在免疫細胞上而影響動物體的免疫反應 (Reddy and Frey, 1992)，這些營養素對維持動物體健康和抵抗疾病的能力是重要而不可忽視的 (Lall and Olivier, 1993)。在水產養殖的過程中，部分或完全利用人工配合飼料取代生物餌料，可達到節省飼 (餌) 料的貯藏空間、設備、能源及投餌時間等，尤其在集約式的高密度養殖系統中，不僅可提供魚類維持正常成長所需之必需營養素外，也可透過飼料配方的調整促進魚類的免疫反應和抗病力，以預防不特定病原的感染。

FAO 曾報導水產養殖的各項成本項目中，飼料約佔總成本的 40 – 60%，台灣經濟研究院生物科技產業研究中心公布的 2007 年沿近海與養殖漁業經濟調查報告中也指出，石斑魚養殖的單位面積經營成本中，飼料與肥料費用高居 44% (圖 3-1)，因此水產養殖產業和水產飼料的發展息息相關，且應

用人工配合飼料，為該魚種養殖產業發展是否健全的指標之一。台灣在 2002 年修正飼料管理法規及修訂魚類用配合飼料，對飼料產品規範其營養粗成分至少 (灰分、水分等) 或最高 (粗蛋白、粗脂肪等) 的標準，以確保飼料能滿足養殖動物的營養需求。

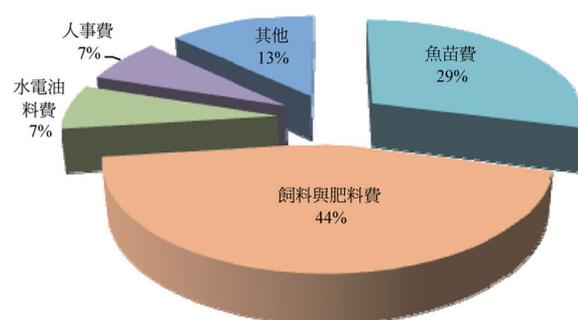


圖 3-1 2007 年石斑魚單位面積經營成本項目 (引自 2007 年沿近海與養殖漁家經濟調查報告，台灣經濟研究院生物科技產業研究中心整理)

全世界的石斑魚種類有 400 多種，具經濟價值的養殖種不到一半。目前台灣養殖的石斑魚分屬石斑魚屬、駝背鱸屬及刺鰓鮨屬等 (圖 3-2)，為暖水魚類，主要分布於熱帶、亞熱帶海域，具有體型肥厚、口部大、移動緩慢等特性。石斑魚除可供食用外，部分魚種也兼具觀賞的價值，一般為夜行性，利用其嗅覺尋覓食物，白天則隱藏於岩穴內，性凶猛，偏肉食性，喜食魚、蝦、蟹類，不喜結群，飢餓時有殘食現象。對鹽度的適應範圍很廣 (11 – 41 psu)，最適水溫為 22 – 28℃，當水溫低於 18℃ 時，食慾會減退，15℃ 以下魚體就會失去平衡。

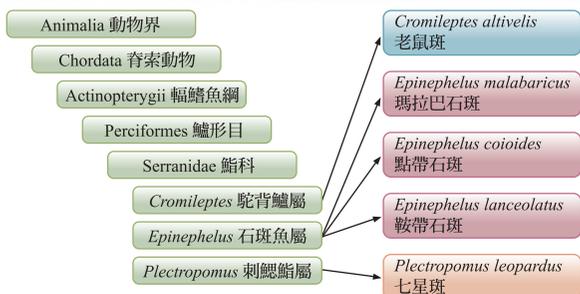


圖 3-2 石斑魚的分類地位

目前台灣地區石斑魚之人工繁殖和育苗技術已漸突破，進而推動了石斑魚養殖產業的興起，迄今仍有部分石斑魚養殖業者以生餌餵食石斑魚，而這些生餌中大多以下雜魚切碎投餵，但下雜魚品質不穩定，且易傳染魚病及污染水質。隨著石斑魚養殖產業的發展，因而迫切需要提供能滿足其生長發育需要的優質配合飼料，以達以配合飼料來完全取代生餌的目標，但目前對石斑魚飼料營養研究仍不完整，尚難以滿足研製生產優質配合飼料的要求，因此全面進行各種石斑魚的飼料營養研究及配合產業開發中間育成優質飼料，對石斑魚養殖產業具有極重要的意義。本文以下將就本所歷年石斑魚飼料營養研發成果，並佐以文獻曾發表的石斑魚飼料營養相關資料加以整理及敘述，以供石斑魚養殖相關產業之參考。

## 二、飼料養分

魚類為了生存、生長及繁衍子代等必須從環境中攝取食物，此種可被魚類攝食的食物，稱之為飼料 (feed, feed stuffs)，飼料中能提供魚類維持生命及正常生長的物質，則稱為營養素 (nutrients)。自然界中，可被魚類攝食，進而消化及吸收利用，並對該魚類無毒害的物質，都可作為該魚類的飼料。飼料營養價值的評定方案，目前國際通常採用 Weende 常規飼料一般成分分析方案 (feed proximate analysis)，方案中將飼料中的營養概分為水分 (moisture)、灰分 (ash)、粗蛋白質 (crude protein, kjehdahl nitrogen)、粗脂肪 (crude fat, ether extract)、粗纖維 (crude fiber) 及無氮浸出物 (nitrogen-free extracts) 等六大類 (圖 3-3)。飼料的粗成分為應用有關的化學反應、直接測定或通過差異計算估算出的 (如無氮浸出物)，故本分析方案所測得的分析結果實際上為籠統的各類物質，而不是化學上某種確定的化合物，也不是動物完全可利用的物質，因此稱為粗成分。本分析方案為 1862 年德國 Weende 試驗站的 Henneberg 與 Stohmann 所創建，因具有概括

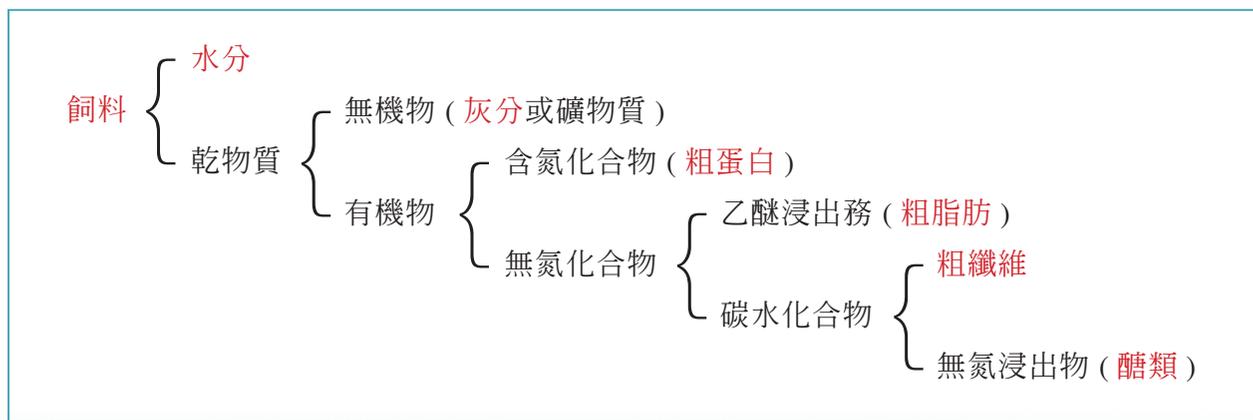


圖 3-3 一般成分與飼料組成之間的關係

性強、簡單及實用等特性，儘管分析中仍存在一些不足，特別是粗纖維分析尚待改進，目前仍為世界各國採用。

### (一) 水分

每種飼料都含有水分，其含量差異極大，最高可達 95% 以上，最低可低於 5%。常規飼料分析將飼料中的總水分概分為初水 (primary water) 及吸附水 (absorption water) 兩種，而除去初水和吸附水的飼料，即稱為乾物質 (dry matter)，乾物質可做為衡量飼料中所含養分多寡的基礎。當飼料的水分含量越多，它的乾物質含量越少，相對營養價值也就越低。而飼料的水分含量越多，越不利於飼料的儲存和運輸，一般飼料中水分超過 12.5% 時，發霉機率會相對較高。而飼料粒子間的水分並不是平均分布的，如該飼料含水分 15%，可能有部分的水分含量為 10%，其他為 20%，其中含最多水分的粒子處為最容易長黴菌的部分。因此，一般適宜飼料保存的水分含量，建議以不超過 14% 為宜。

### (二) 灰分

灰分是飼料或動物組織在 500 – 600°C 的高溫爐中將所有的有機物質全部氧化後所剩餘的殘渣。該殘渣中主要為礦物質氧化物或鹽類等無機物質，有時還含有少量泥沙、部分則仍有原來有機物的成分 (如蛋白質中的硫和磷)，因此稱為灰分。

### (三) 粗蛋白質

粗蛋白質是常規飼料分析中用來估計飼料或動物組織中一切含氮物質的指標，它包括真蛋白質和非蛋白質含氮物兩部分，而非蛋白質含氮物則包含游離胺基酸、肽類、酰

類、硝酸鹽、銨鹽等。常規飼料的粗蛋白質分析，是用凱氏定氮法測出飼料樣品中的氮含量 (N) 後，再用  $N \times$  蛋白質換算係數計算粗蛋白質含量，其中蛋白質換算係數代表飼料樣品中粗蛋白質的平均含氮量為 16% ( $100/16 = 6.25$ )，因此一般測定蛋白質都用 6.25 進行計算。

### (四) 粗脂肪

粗脂肪是指飼料或動物組織中脂溶性物質的統稱。常規分析是應用乙醚浸提樣品後所得的乙醚浸出物，因此粗脂肪中除真脂肪外，還含有其他溶於乙醚的有機物質，如葉綠素、胡蘿蔔素、有機酸、樹脂、脂溶性維生素等脂溶性物質，故稱該浸出物為粗脂肪或乙醚浸出物。

### (五) 粗纖維

粗纖維是植物細胞壁的主要組成成分，包括有纖維素 (cellulose)、半纖維素 (hemicellulose)、木質素 (lignin) 及角質 (horny) 等成分，其中木質素對動物沒有營養價值。常規粗纖維分析過程中，因有部分的纖維素、半纖維素及木質素等也會溶解於酸、鹼中，使得所測定的粗纖維含量偏低，同時也會增加無氮浸出物的計算誤差。為改進粗纖維分析，van Soest (1976) 提出，以中性洗滌纖維、酸性洗滌纖維及酸性洗滌木質素等三種，作為飼料中纖維素類物質的指標。同時將飼料纖維素中的半纖維素、纖維素和木質素等部分分離出來，而能更精確地而能更精確地評定飼料粗纖維的營養價值。

### (六) 無氮浸出物

無氮浸出物主要是由易被動物利用的澱粉、雙醣及單醣等可溶性碳水化合物組成。

常規飼料分析中，不能直接分析飼料中無氮浸出物的含量，而是利用計算得到的，其計算式為：無氮浸出物 (%) = 100% - (水分 + 灰分 + 粗蛋白質 + 粗脂肪 + 粗纖維)%。因此無氮浸出物中除碳水化合物外，還包括水溶性維生素等其他成分。

### 三、石斑魚之飼料蛋白質需求

蛋白質為生命的物質基礎，是構成石斑魚組織細胞不可或缺的營養素，細胞原生質的重要組成成分是蛋白質，它是碳水化合物和脂肪所不可替代的；除此之外，蛋白質也是石斑魚體內生理活性物質（如酶、激素和抗體等）的組成成分，也具有供應組織蛋白更新、修復及維持功能，以及提供部分的能量來源。飼料中提供的蛋白質含量不足時，會造成使魚類成長遲滯、飼料效率變差、食慾減退等現象 (Serrano et al., 1992)；反之當飼料中蛋白質含量過高，魚類會將多餘的蛋白質作為能量來源，造成蛋白質的浪費。另如蛋白質來源不適時，魚類在無法有效利用下，不僅影響其成長，也會將無法消化吸收的蛋白質代謝產物排入養殖池，導致池水含氮廢物過高等不良影響。蛋白質為飼料組成中比例最多的成分，它的含量與品質也是決定養殖效益的重要因素之一。

蛋白質是決定魚類生長的關鍵營養素之一，也是配合飼料成本中花費最大的部分，所以蛋白質是飼料配方和生產中最被大家關注的，而確定配合飼料蛋白質的最適需求，在魚類營養和配合飼料生產上更是重要。對蛋白質需求的意義而言，是魚類維

持基本生命活動所必需的蛋白質含量，亦即維持營養需要的蛋白質含量，一般以能使魚類最大限度地成長或能使魚體內蛋白質沉積達到最大時，飼料中必須達到的最低蛋白質含量，通常稱為最適蛋白質需求量。對做為魚類體內活動能量來源的營養素而言，蛋白質是優於碳水化合物和脂肪，因此魚類對蛋白質的需求較高，一般約為哺乳動物和鳥類的 2 - 4 倍。然魚類並沒有絕對的蛋白質需求量，而是需要均衡的必需及非必需胺基酸組成，因此，魚類的蛋白質需求量隨其成長體型、年齡、食性、環境溫度與飼料蛋白質品質等因素而有差異，一般而言，肉食性魚類對飼料蛋白質的需求量高於雜食性魚類，雜食性魚類又高於草食性魚類，而同種魚類中對蛋白質的需求，仔稚魚高於幼魚，幼魚又高於成魚，所以魚類配合飼料配方設計時需考量飼養對象及成長階段。依據已發表的文獻報導，一般魚類對蛋白質的需求量約在 30 - 55%，肉食性魚類（如石斑魚）約為 40 - 55%（表 3-1）。本所海水繁養殖研究中心研究人員於 2009 年以鞍帶石斑幼魚，分別配製含 35、40、45、50、55 和 60% 等不同蛋白質含量的試驗飼料，進行 8 週的飼育試驗，試驗結果經以 Broken-line 模式分析鞍帶石斑的最適飼料蛋白質營養需求量為 46.7% (95% 信賴區間為 44.5 - 48%)。Boonyaratpalin (1997) 建議實用石斑魚配合飼料中的經濟有效的蛋白質含量為 40%，但綜合石斑魚蛋白質營養需求量研究及本所的研究結果，石斑魚配合飼料中至少 45% 的蛋白質才足以提供石斑魚成長需求及達到較佳的石斑魚養殖經濟效應。

表 3-1 石斑魚蛋白質營養需求量

種 類	營養需求量 (%)	資 料 來 源	備 註
鱸滑石斑 ( <i>E. tauvina</i> )	50	Teng et al. (1977)	維持最大生長
	50	Sukhaongs (1978)	魚體重：20-30 & 60-70g
	47-60	El-dakour et al. (1982)	
鮭形石斑 ( <i>E. salmonoides</i> )	40	Teng et al. (1978, 1979)	能量：13.82 MJ/kg P/E：28.92 g/MJ
瑪拉巴石斑 (幼) ( <i>E. malabaricus</i> )	47.8	Chen & Tsai (1994)	維持最大生長 初重：3.79g
	44-50.2	Shiau & Lan (1996)	初重：9.22±0.1g 能量：14.2-15.7 MJ/kg
	55-56	Tuan & Williams (2007)	初重：17.0±1.3g
赤點石斑 ( <i>E. akaara</i> )	48.4-49.2	陳等 (1995)	初重：126.36 g
青石斑 ( <i>E. awoara</i> )	50.9-54.8	陳等 (1995)	初重：39.33 g
點帶石斑 ( <i>E. coioides</i> )	48	Luo et al. (2004)	初重：10.7±0.2g
	47	鄭 (2006)	
鞍帶石斑 ( <i>E. lanceolatus</i> )	46.7 (44.5-48.9)	水試所海水中心 (2009)	初重：23.5±0.8g

水產飼料蛋白質原料中胺基酸的組成和生物體的胺基酸組成愈接近，該蛋白質原料的營養價就會愈高，而魚粉因含有均衡胺基酸組成、促進飼料誘引效果及一些成長因子，因此對肉食性魚類飼料配方一直是不可或缺的。近年來，由於各魚粉生產地的過度捕撈原料魚，再加上聖嬰現象，使海洋漁獲大量減產，造成魚粉供不應求，此外資源保育觀念抬頭，使得魚粉資源的永續使用備受關注，因此尋求其他蛋白源來取代魚粉，已成為水產飼料營養研究的趨勢。但不同魚種之間對植物性原料取代魚粉的效果，差異很大。飼料中使用大量植物性蛋白源也面臨必需胺基酸組成不平衡的問題。不同蛋白質來源取代魚粉使用量的相關研究，周 (1998) 使用大豆蛋白，並配合添加甲硫胺酸進行取代魚粉試驗，結果顯示大豆蛋白可取代瑪拉巴石斑飼

料中 40 – 60% 的魚粉。另蔡 (2000) 應用雞肉粉及精製大豆蛋白混合物 (1 : 1 比例混合) 為飼料蛋白來源，發現混合蛋白可取代點帶石斑飼料中 50% 之魚粉。Millamena (2002) 認為肉粉和血粉 (4 : 1) 混合物可以取代小於 80% 的魚粉，其中以替代 20% 為最好。目前本所海水繁養殖研究中心也正積極研發以植物性蛋白質取代魚粉的相關研究，戮力開發優質的石斑魚飼料。

#### 四、石斑魚之飼料脂肪需求

脂肪在魚類生命代謝過程中具有多種生理功能，是魚類所必需的營養素，脂肪有構成石斑魚體細胞、儲存及提供能量、有助於脂溶性維生素吸收及在魚體內的轉運、提供魚類生長之必需脂肪酸、做為某些激素和維

生素合成之原料等生理功能，另脂肪的密度比水小，因此魚體內的脂肪還能幫助魚類在水中維持平衡和沉降。再者由於脂肪的原料價格低於蛋白質，但所含的能量高於蛋白質，因此在水產飼料中適度添加脂肪作為能量來源，可引發蛋白質的節約效應 (Vergara et al., 1999)，進而可降低飼料的成本。

魚類的脂肪需求量約為 10 – 20%，因此脂肪為飼料中僅次於蛋白質的主要營養素。魚類脂肪的需求因不同的魚種、食性、成長階段、生活環境（溫度、鹽度）、脂肪來源及飼料組成（其他營養素含量）等而有不同的需求。當飼料中脂肪的含量不足或缺乏時，除會引發魚類代謝紊亂，飼料蛋白質利用率下降等，也會影響脂溶性維生素的吸收及其生理功能的正常發揮，進而引發一些併發症；然飼料中脂肪含量過高，則會導致魚體脂肪沉積過多，影響肝臟功能的正常運作，從而導致魚體抵抗疾病的能力降低，同時也不利於飼料的加工成型和儲藏。因此，飼料中含適量的脂肪對魚類生長和飼料生產是很重要的。

一般大多數主要海水養殖魚類對脂肪的最適需求量為 8 – 16%，其中冷水性魚類的脂肪含量可高達 20%，溫水性魚類有 7 – 8% 即可滿足需求。在相同條件下的同一種石斑魚，對脂質的需求也會隨魚體的成長而逐漸減少。New (1987) 指出，石斑魚的飼料最適脂肪含量為 13.5 – 14%，馬 (1996) 則認為飼料中粗脂肪含量為 3 – 4% 時，赤點石斑幼魚的成長較快，青石斑配合飼料中脂肪的適宜含量為 9.87% (周, 1996)。Lin 與 Shiau (2003) 指出，飼料中脂肪含量為 4%

即能滿足點帶石斑的最低脂肪需求，9% 可維持較佳的增重效果。在箱網養殖中，Luo 等 (2005) 建議於飼料中油脂添加 10%，能使點帶石斑達最大的成長效果。另鄭 (2005) 則建議飼料油脂添加 6 – 8% 可使點帶石斑達最佳成長。本所海水繁養殖研究中心於 2010 年的鞍帶石斑之飼料脂肪需求研究中，分別以添加 2、4、6、8、10、12 及 15% 等脂質配製之試驗飼料，進行 8 週的飼育試驗，結果經以 Broken-line 模式分析鞍帶石斑的最適飼料脂肪營養需求量為 7.8% (95% 信賴區間為 5.8 – 9.8%)。而脂肪含量和基因表現相關性結果中，發現攝取含脂質 4、6、8、10% 的鞍帶石斑，其乙醯輔酶 A 羧化酶 (ACC2) 基因的表現與飼料脂質含量呈現負相關，魚體過氧化體增生活化受體 (PPARs) 基因的表現與肝一體重比呈現正相關。

魚類生長所需之必需脂肪酸本身不能合成，必須由飼料直接提供。必需脂肪酸不僅是魚類組織細胞組成成分，對膽固醇代謝、與前列腺素合成及腦活動等也密切相關，對石斑魚生長發育、健康和繁殖也有顯著影響。另生物膜的流動性會受生物膜上磷脂質之脂肪酸組成影響，n-3 系列的脂肪酸在結構上容許較大的不飽和性，因此 n-3 系列的脂肪酸為魚類在低溫環境下維持生物膜上磷脂質之柔軟性和通透性所必需的。

魚類對必需脂肪酸的營養需求，因不同的魚種、成長階段、生活環境和飼料中脂質含量等的不同而有不同的需求，魚類和其他的脊椎動物一樣無法重新合成次亞麻油酸 (18 : 3n-3) 和亞麻油酸 (18 : 2n-6)，因此飼料中需要含有次亞麻油酸或亞麻油酸，魚

類對 18- 碳脂肪酸的去飽和或碳鏈加長的能力，會因魚種而有不同。一般而言，溫水性淡水魚類的必需脂肪酸為次亞麻油酸、亞麻油酸或是兩者；冷水性淡水魚和大部分的海水魚類則需要次亞麻油酸或較長鏈更不飽和的高度不飽和脂肪酸 (HUFA) (如二十碳五烯酸 (EPA) 或二十二碳六烯酸 (DHA))；在冷水性淡水魚類虹鱒的飼料中添加 n-6 多不飽和脂肪酸 (n-6 PUFA)，雖可改善其成長和飼料效率，但仍無法有效滿足其對必需脂肪酸的營養需求。

本所海水繁養殖研究中心在一系列的瑪拉巴石斑稚魚之必需脂肪酸營養研究中發現，飼料中添加適量的 n-3 和 n-6 HUFA 會促進瑪拉巴石斑稚魚的成長與強化免疫反應。實驗一的探討石斑稚魚對飼料 DHA 和 EPA 的需求情形以及其對免疫反應之影響試驗，發現飼料 DHA 可促進石斑稚魚的成長，且其效果優於 EPA；攝取高 DHA/EPA 比例的石斑魚，其 T 細胞的反應和吞噬功能顯著高於攝取低 DHA/EPA 比例者。因此，飼料 DHA 比 EPA 更能強化瑪拉巴石斑稚魚的細胞性免疫反應，且 DHA 有可能是所有 n-3 HUFA 中唯一具有促進石斑魚白血球吞噬功能的必需脂肪酸。探討石斑魚稚魚對次亞麻油酸和亞麻油酸的實驗二中，結果顯示以含次亞麻油酸和亞麻油酸 2% 的飼料餵食石斑稚魚，能有效促進成長與其頭腎白血球吞噬和呼吸爆活性等非特異性細胞免疫反應。實驗三為探討石斑魚的花生四烯酸需求試驗，結果顯示適量的飼料花生四烯酸和 n-3 HUFA 之添加可以促進瑪拉巴石斑稚魚的成長；而深受飼料脂肪酸組成影響的魚

體肝臟 n-6 HUFA 濃度，可以強化石斑稚魚頭腎白血球的吞噬活性、呼吸爆發活性和白血球增生等免疫反應，且當飼料中含適當的 n-3 HUFA 時，花生四烯酸的添加對石斑魚成長的促進顯著優於攝取未添加花生四烯酸者，顯示飼料花生四烯酸對石斑魚有促進成長的效果。綜合一系列試驗的結果，當 n-3 HUFA 中，DHA 與 EPA 的比例為 3 : 1 (wt/wt) 時，瑪拉巴石斑稚魚之飼料必需脂肪酸需求量為 n-3 HUFA 1% 和花生四烯酸 1%，可使石斑稚魚達到最佳成長與其免疫反應受最大的激化。上述的研究結果，本所海水繁養殖研究中心已應用於中間育成飼料開發之研究中，期以開發促進石斑魚健康的優質中間育成飼料。

## 五、石斑魚之維生素 C、E 之需求

維生素是魚類必需的營養素，雖不能提供熱量，卻為魚體內生化代謝不可或缺的，對維持魚類的正常發育、繁殖和促進健康等重要的生理功能相當重要。一般而言，魚類必需的維生素包括維生素 B 群、維生素 C、維生素 D、維生素 E、維生素 K 等。魚類的維生素需求因其發育階段、生理狀況、環境條件、飼料組成和品質、維生素劑型不同等而有差異，也會因飼料中營養素間的相互作用而不同。目前石斑魚的維生素需求研究，仍無法符合產業的需求，以下茲以文獻曾發表及本所近年發表的石斑魚維生素 C 和維生素 E 需求相關研究，加以整理及敘述。

### (一) 維生素 C

維生素 C 不僅可幫助魚體體內金屬離子

的吸收、做為酵素的輔酶、參與抗氧化作用外、也可促進膽固醇合成腎上腺類固醇激素過程中之氫化酶活性，加速腎上腺類固醇激素之合成。除少數魚類（如鯉魚）具有合成維生素 C 的能力外，大部分的魚類因缺乏古酪酮酸內酯氧化酶，而無法合成維生素 C，須從食物中攝取以維持正常的生理功能。

適量維生素 C 能維持魚體內的正常生理功能、促進成長和魚體的免疫反應及疾病抵抗等。當飼（餌）料中維生素 C 缺乏時，不僅魚類的成長遲滯，也會產生維生素 C 缺乏症，如鱸滑石斑會表現出明顯的如食慾減退、鱗條腐爛、眼睛和鱗條出血、眼球突出、腹部腫大、頭骨畸形、脊柱側凸和前彎等維生素 C 缺乏症狀 (Boonyaratpalin et al., 1993)。瑪拉巴石斑則有整個鰓表面之鰓薄板有融合現象發生，且在魚體呼吸道上皮組織發生分離，產生畸形鰓絲，支持之軟骨結構及細胞產生扭曲變形，並且有不規則的形狀 (Phromkunthoung et al., 1993)。

魚類所必需之維生素 C 需求量因魚種不同而有不同。如同對單磷酸態維生素 C（含鎂鹽）的需求量，維持鱸滑石斑幼魚正常成長的需求量為 30 mg/kg (Boonyaratpalin et al., 1993)，但瑪拉巴石斑則僅需 17.9 mg/kg (林, 2005)。而同一石斑魚種中，因不同的維生素 C 劑型或衍生物，也會有不同的利用效率及需求。林 (2005) 在探討瑪拉巴石斑的 L- 維生素 C 及其衍生物之需求研究中發現 L- 維生素 C、單磷酸態維生素 C（含鎂鹽）、單磷酸態維生素 C（含鈉鹽）、磷酸態維生素 C 需求量分別為 45.3、17.9、8.3、46.2 及 17.8 mg/kg，而不同劑型維生素 C 的利用效率也

不同，石斑魚的利用效率大小依序為單磷酸態維生素 C（含鈉鹽）> 磷酸態維生素 C > 單磷酸態維生素 C（含鎂鹽）> L- 維生素 C (林, 2005)。由該研究結果顯示，瑪拉巴石斑對含鈉鹽的單磷酸態維生素 C 之利用性最高，其飼料需求量為 8.3 mg/kg。

## (二) 維生素 E

維生素 E 為硬骨魚類的必需營養素 (Halver, 2002)，其需求量約為 15 – 100 mg/kg，且隨著魚種和飼料中脂肪的含量而有不同。如飼料中脂肪含量由 4% 提高到 9% 時，瑪拉巴石斑之維生素 E 的最適需求量會由 61 – 68 mg/kg 提高至 104 – 115 mg/kg (林, 2005)。維生素 E 除具抗氧化功能外，也可調節魚類的免疫功能，然促進魚類免疫反應所需的維生素 E 濃度遠高於維持正常生理功能的需求，但超量的維生素 E 補充反而會導致魚類成長遲滯、紅血球濃度降低及血容積比減少等病症。林 (2005) 認為飼料中含有適量維生素 E 可降低石斑魚體內之氧化壓力，並增進免疫反應。

本所海水繁養殖研究中心設計一系列的石斑魚的維生素 E 需求研究，探討石斑魚的維生素 E 的營養需求及其促進石斑魚免疫反應之相關研究，研究結果顯示，適量維生素 E 可有效促進石斑魚的免疫反應。石斑魚之維生素 E 系列研究分二試驗，在維生素 E 對點帶石斑稚魚的免疫反應研究中，以添加不同濃度維生素 E (0、50、500、5,000 mg/kg) 的四種試驗飼料餵飼點帶石斑，結果發現，攝取添加維生素 E 飼料的各試驗組石斑魚的成長和頭腎白血球的吞噬活性和增生活性均顯著優於餵飼未添加維生素 E 飼料的石

斑魚，而餵飼添加維生素 E 500 mg/kg 飼料的石斑魚的白血球吞噬活性顯著高於其他試驗組石斑魚。另於鞍帶石斑稚魚之飼料維生素 E 需求及其免疫反應研究，以添加七種不同濃度得維生素 E (0、7.5、15、30、60、120 和 240 mg/kg) 的飼料，餵飼鞍帶石斑稚魚 12 週，結果顯示，飼料中添加維生素 E 顯著影響鞍帶石斑之成長、活存率和肌肉硫巴比妥酸值。攝取添加維生素 E 大於或等於 15 mg/kg 飼料組之試驗魚的頭腎白血球吞噬活性及增生作用顯著高於未添加組，但對白血球的呼吸爆活性則無影響。將成長結果以 Broken-line 模式分析後，可得出鞍帶石斑的維生素 E 需求量為 46 mg/kg (95% 信賴區間為 32.1 – 59.9 mg/kg)。

## 六、鞍帶石斑之中間育成飼料試驗

本所海水繁養殖研究中心 (2008) 以不同油脂配方來源調配優質飼料，探討促進鞍帶石斑 (體型大小為 3 – 9cm) 免疫力的飼料養殖策略。試驗一：以體型大小為 3 – 9 cm 之石斑魚，依中間育苗過程之體型大小，分前 (3 – 6 cm)、後 (6 – 9 cm)，飼料分 A (加入 2% 鱈魚肝油) 和 B (加入 2% 花生油) 兩種，中間育成過程中，飼料使用之養殖策略為 A-B、B-A、A-A、B-B 等四種。第一階段之餵食試驗結果顯示，添加 2% 鱈魚肝油 (飼料 A) 或 2% 花生油 (飼料 B) 之試驗飼料餵飼石斑魚，其成長率均顯著優於僅餵飼市售鱈魚飼料的對照組，但各組間之活存率則無顯著差異。在整個二階段蓄養試驗結果顯示任一中間育成階段中，攝取含花生油之飼料

組 (B-B、A-B 或 B-A) 魚的成長顯著優於 A-A 試驗組及餵飼鱈魚飼料的對照組；但各試驗組間的活存率則無顯著差異。另石斑魚體的脂肪酸組成完全反映出飼料所含的脂肪酸組成。而全程或中間育成後階段之飼料中添加 2% 花生油可增加石斑魚體內的 n-6 HUFA 和花生四烯酸，這些脂肪酸不僅可促進石斑魚的成長，對石斑魚的非特異性免疫也有正面效果。試驗二：以體型大小為 3 cm 之石斑魚繼續進行飼料配方研發，飼料分 A (2% 花生油)、B (2% 花生油 + 維生素 E)、C (2% 花生油 + 維生素 C) 等三種，以探討促進鞍帶石斑免疫力的飼料養殖策略。由 4 週的餵食結果發現，攝取添加維生素 E 的飼料 B 及添加維生素 C 的飼料 C 兩試驗組魚的成長率顯著高於飼料 A 組者。因此在石斑魚中間育成飼料中同時添加抗氧化維生素 (維生素 C 或維生素 E) 可提高鞍帶石斑的成長。

## 七、未來發展

石斑魚的飼料營養相關研究雖然稍有進展，但仍不及石斑魚養殖產業的發展，迄今尚缺乏完整性及全面性，諸多研究仍無法應用於配合飼料的開發，也未滿足石斑魚養殖產業的需求。依石斑魚產業需求，繼續進行各主要石斑魚種飼料營養基礎研究、開發石斑魚的中間育成之配合飼料、加強石斑親魚成熟產卵階段的飼料開發、研發石斑魚配合飼料加工技術等都是未來石斑魚飼料開發的重點，最後相關單位制定石斑魚飼料的國家標準，將是驅使石斑魚養殖達到完全人工配合飼料養殖的終極目標。

## 八、參考文獻

1. 吳豐成 (2002) 瑪拉巴石斑稚魚之必需脂肪酸營養及其對免疫反應之影響。國立中山大學海洋生物研究所博士論文。
2. 吳豐成、陳敏隆、張丁仁、丁雲源 (2004) 維生素 E 對點帶石斑稚魚的頭腎白血球免疫反應之影響。水產研究, 12(1): 39-47。
3. 吳豐成、葉信利 (2008) 龍膽石斑稚魚之飼料維生素 E 需求及其免疫反應。水產研究, 16(1): 77-85。
4. 周瑞良 (1998) 餌料蛋白質之品質對石斑魚成長及其免疫力的影響。國立中山大學海洋生物研究所碩士論文。
5. 林美芳 (2005) 石斑魚稚魚之維生素 C 需求及其對緊迫與免疫反應相關性之探討。國立台灣海洋大學食品科學系博士論文。
6. 林鈺鴻 (2005) 石斑魚之脂肪、維生素 E 與硒需求及其交互作用對免疫反應之影響。國立台灣海洋大學食品科學系博士論文。
7. 鄭安倉 (2006) 不同能量來源取代魚粉蛋白能量對點帶石斑之效應。國立台灣海洋大學水產養殖學系博士論文。
8. Boonyaratpalin, M. (1997) Nutritional requirements of marine food fish cultured in South East Asia. *Aquaculture*, 151: 283-313.
9. Boonyaratpalin, M., J. Wannagowat and C. Borisut (1993) L-ascorbyl-2 phosphate-Mg as a dietary vitamin C source for grouper for grouper. Presented at the seminar on fisheries 1993, Department of Fisheries, 16-17 September.
10. Chen, H. Y. and J. C. Tsai (1994) Optimum dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. *Aquaculture*, 119: 265-271.
11. Lall, S. P. and G. Olivier (1993) Role of micronutrients in immune response and disease resistance of fish. In: *Fish Nutrition in Practice*, (Kaushik, S. J. & Luquet, P., editors). Institut National de la Recherche Agronomique, Les Colloques. Biarritz, France, 101-118.
12. Luo, Z., Y. J. Liu, K. S. Mai, L. X. Tian, D. H. Liu and X. Y. Tan (2004) Optimal dietary protein requirement of grouper *Epinephelus coioides* fed isoenergetic diets in floating net cages. *Aquacult. Nutr.*, 10: 247-252.
13. Luo, Z., Y. J. Liu, K. S. Mai, L. X. Tian, D. H. Liu, X. Y. Tan and H. Z. Lin (2005) Effect of dietary lipid level on growth performance and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating netcages. *Aquacult. Int.*, 13: 257-269.
14. Millamena, O. M. (2002) Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides*. *Aquaculture*, 204: 75-84.
15. New, N. B. (1987) Feed and Feeding of Fish and Shrimp. A Manual on the Preparation and Presentation of Compound Feeds for Shrimp and Fish in Aquaculture. United Nations Development Program, FAO, Rome.
16. Reddy, P. G. and R. A. Frey (1992) Nutritional modulation of immunity in domestic food animals. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.*, 35: 255-281.
17. Serrano, J. A., G. R. Nematipour and D. M. Gatlin III (1992) Dietary protein requirement of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) and relative use of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture*, 101: 283-291.
18. Shiau, S. Y. and C. W. Lan (1996) Optimum dietary protein level and protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 145: 259-266.
19. Sukhanongs, S., N. Tanakumchup and S. Chungyampin (1978) Feeding experiment on artificial diet for greasy grouper, *Epinephelus tauvina* in nylon cages. *Annu. Rep. Songkhla Fish Stn, Dep. Fish*, 103-117.
20. Teng, S. K., T. E. Chua and P. E. Lim (1978) Preliminary observation on the dietary protein requirement of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* Maxwell, cultured in floating net cages. *Aquaculture*, 15: 257-271.
21. Tuan, L. A. and K. C. Williams (2007) Optimum dietary protein and lipid specifications for juvenile Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 267: 129-138.
22. Van Soest, P. J. (1976) Influence of environment on forage composition. In: *Proc. Workshop on Nutritional Evaluation of Forages* (Mugdal, V.D., editor). Natl. Dairy Res. Inst., Karnal, India, 80.
23. Wu, F. C., Y. Y. Ting and H. Y. Chen (2002) Docosahexaenoic acid is superior to eicosapentaenoic acid as the essential fatty acid for growth of grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Journal of Nutrition*, 132: 72-79.
24. Wu, F. C., Y. Y. Ting and H. Y. Chen (2003) Dietary docosahexaenoic acid is more optimal than eicosapentaenoic acid affecting the level of cellular defense responses of the juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. *Fish Shellfish Immun.*, 14: 223-238.