

第六章 石斑魚人工配合飼料開發概況

一、前言

根據聯合國世界糧農組織 (FAO) 2002—2003 年統計水產養殖的各項成本中，飼料約佔總成本的 40—60%，臺灣經濟研究院生物科技產業研究中心於 2007 年針對沿海與養殖漁家經濟調查，報告中指出，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%，由此可知水產養殖業者要取得較好經濟效益，降低飼料成本是非常重要的，因此水產養殖產業的發展和水產飼料發展是息息相關的。

目前臺灣地區石斑魚的人工繁殖和育苗技術已漸突破，周邊產業也發達，進而推動了石斑魚養殖產業的興起，但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，然下雜魚品質不穩定，且存在著易傳染魚病及污染水質等缺點。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，但目前石斑魚飼料研究仍不完整，且飼料組成和魚類的營養需求會因種類、體型及生活環境等而有差異，因此如何依養殖魚類的營養需要特點，配製出飼料係數（換肉率）更高的配合飼料，將是該養殖產業全面發展與否的重要指標之一。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，對石斑養殖產

業具有極重要的意義。本文以下將就本所海水繁養殖研究中心近年來的石斑魚飼料營養研發成果加以整理，以供石斑魚養殖相關產業之參考。

二、石斑魚飼料中以植物蛋白替代魚粉研究

飼料中蛋白質來源的好壞取決於新鮮度及其胺基酸組成，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值就會愈高，因此選擇飼料蛋白質來源須考量養殖魚體的胺基酸組成和胺基酸平衡等問題。而所謂的胺基酸平衡是指飼（餌）料中，各種必需胺基酸的數量和相互間的比例與魚類生長的需要量和比例一致。當飼（餌）料中的各個胺基酸間的相對含量和魚體胺基酸基本需要量之間的相對比值一致或很接近時，則胺基酸的利用率最佳。而當飼料中某一種胺基酸過多，即超過在合成蛋白質要求界限時，其多餘的胺基酸將會透過脫氨作用 (deamination) 被當作能源來利用，或做為體脂的原料而被蓄積起來。因此飼（餌）料中的胺基酸的數量和比例只要符合魚類生理需要即可，而不是越多越好。一般認為魚類的必需胺基酸有 10 種，包括精胺酸 (arginine)、組胺酸 (histidine)、白胺酸

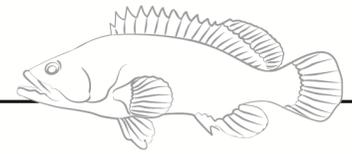
(leucine)、異白胺酸 (isoleucine)、離胺酸 (lysine)、甲硫胺酸 (methionine)、苯丙胺酸 (phenylalanine)、蘇胺酸 (threonine)、色胺酸 (tryptophan) 及纈胺酸 (valine) 等，然隨著魚類的成長，其體內的組胺酸和精胺酸的合成能力會增強，因此這兩種胺基酸對成魚而言，為非必需胺基酸。當魚類飼料中某種或某幾種必需胺基酸的含量低於其需要量時，會限制魚類對飼料中胺基酸的利用，這種或這幾種胺基酸稱為限制性胺基酸 (limiting amino acids)，通常飼料中缺少程度最高的必需胺基酸稱為第一限制性胺基酸，其次為第二限制性胺基酸。一般而言，離胺酸和甲硫胺酸為魚類飼（餌）料的限制性胺基酸，因此配製飼料時須特別注意飼料中離胺酸和甲硫胺酸的適宜比例。

常久以來，魚粉因含有均衡胺基酸組成、促進飼料誘引及一些成長因子等，因此被視為魚類飼料配方中不可或缺的原料之一。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，因此尋求魚粉的取代蛋白源，已成為水產飼料研究的主流趨勢之一。但不同魚種之間對蛋白質原料的消化利用效果差異很大，在應用時也須考量必需胺基酸平衡的問題。

在石斑飼料中，以不同蛋白質來源取代魚粉使用量的相關研究，如周 (1998) 使用大豆蛋白，並配合添加甲硫胺酸進行魚粉的取代試驗，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 的比例混合) 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% 為最佳。

本中心飼料研究團隊於 2011 年以兩實驗探討點帶石斑稚魚飼料中以植物蛋白取代魚粉對成長之影響。兩實驗中的蛋白質添加量為 47%，油脂添加量則為 8%，植物蛋白分別選用玉米筋粉及水解大豆粉，另以魚粉為飼料單一蛋白質來源的飼料為對照組。實驗一為以玉米筋粉取代魚粉試驗，經 8 週的成長試驗發現，飼育期間各試驗組魚的活存率並無統計差異，且各試驗組魚也未發現任何異常行為及病變。成長增重結果 (表 6-1) 顯示，飼育以完全魚粉 30% 飼料之試驗組魚的體增重率最高，與替代魚粉 20、40% 及對照組間並無顯著差異，但顯著高於替代魚粉 10、50、60% 等試驗組者。所有試驗組中以攝取以玉米筋粉替代魚粉 60% 飼料之試驗組魚的體增重率最差，與對照組間有統計差異。由本試驗結果顯示於石斑魚飼料中可以玉米筋粉取代魚粉，其取代量約 15—30%。實驗二為水解大豆粉取代魚粉試驗，經為期 8 週的成長試驗，有關飼育期間各試驗組魚的活存率沒有顯著差異，且各試驗組魚也沒有任何行為及病變等異常發生。由成長增重結果 (表 6-2)，所有試驗組中以攝取以水解大豆粉替代魚粉 60% 飼料之試驗組魚的成長最差，除此之



外，各試驗組及對照組魚的成長率則無統計差異。由本試驗結果顯示於石斑魚飼料中可以水解大豆粉取代魚粉，其取代量可達 20—40%。玉米筋粉及水解大豆粉雖能部分取代魚粉之使用，但仍應避免高量取代，以減少成長不佳之發生。

表 6-1 石斑魚餵食以玉米筋粉部分取代魚粉飼料 8 週之體增重、活存率及肝體比**

| 飼料* | 增重率(%) | 活存率(%) | 肝體比 |
|-----|---------------------|--------------------|--------------------|
| R0 | 476.4 ^a | 86.7 ^{ab} | 1.56 ^{bc} |
| R10 | 456.1 ^{ab} | 86.7 ^{ab} | 1.32 ^{bc} |
| R20 | 461.8 ^a | 96.7 ^a | 1.37 ^{bc} |
| R30 | 469.9 ^a | 86.7 ^{ab} | 1.65 ^b |
| R40 | 460.0 ^a | 80.0 ^b | 2.13 ^a |
| R50 | 387.1 ^{ab} | 83.3 ^b | 2.40 ^a |
| R60 | 316.9 ^b | 93.3 ^{ab} | 2.06 ^{ab} |

* Rn：n 表以玉米筋粉部分取代魚粉蛋白的比率

** 數據為三重複之平均值，同一行上標英文字母相同者表無顯著性差異(p > 0.05)

表 6-2 石斑魚餵食以水解大豆粉部分取代魚粉之飼料 8 週之體增重、活存率及肝體比**

| 飼料* | 增重率(%) | 活存率(%) | 肝體比 |
|-----|---------------------|--------|------|
| R0 | 508.3 ^a | 90.0 | 0.93 |
| R10 | 487.1 ^a | 93.3 | 0.94 |
| R20 | 464.2 ^{ab} | 100.0 | 0.83 |
| R30 | 471.6 ^{ab} | 93.3 | 0.91 |
| R40 | 457.5 ^{ab} | 96.7 | 1.12 |
| R50 | 449.0 ^{ab} | 93.3 | 0.99 |
| R60 | 408.6 ^b | 96.7 | 0.87 |

* Rn：n 表以水解大豆粉部分取代魚粉蛋白的比率

** 數據為三重複之平均值，同一行上標英文字母相同者表無顯著性差異(p > 0.05)

三、鞍帶石斑稚魚之飼料脂肪需求研究

脂質為魚類生命活動和生長所必需的重要營養素之一，其主要功能如作為能量來源、作為脂溶性維生素吸收的載體、維持細胞膜的結構及完整性、作為某些激素和維生素的合成原料、以及動物體內主要的能量儲存型式等，另脂質也能增加飼料的適口性及減少顆粒飼料在水中的溶失率。魚類因不同的魚種、成長階段、生活環境和飼料組成等不同而有不同的油脂需求。

本中心飼料研究團隊於 2010 年探討鞍帶石斑之飼料脂肪需求研究中，分別以添加 2 (L2)、4 (L4)、6 (L6)、8 (L8)、10 (L10) 和 12 (L12) 和 15% (L15) 等脂質量來配製之不同的試驗飼料，經進行 8 週的成長試驗發現，整個飼育期間的活存率，各試驗組魚除添加 L2、L4 及 L12 等試驗組沒有發現死亡外，其餘各試驗組因鞍帶石斑具攻擊的習性而跳離蓄養桶死亡，但未發現任何異常行為及病變。在攝餌量方面，飼育試驗的第 1—3 週，各試驗組魚的攝食量均無顯著性差異，顯示本試驗各試驗組魚對試驗飼料均能適應，且未有拒食現象，然在第 4 週後，攝食含高油脂的 L12 和 L15 兩試驗組，可能因攝取高能量飼料而導致 L12 和 L15 兩試驗組魚的攝餌量顯著低於其他試驗組魚者。成長增重結果發現飼育含 2% 粗脂質飼料之 L2 試驗組魚的體增重率 (表 6-3) 最差，顯著低於其他試驗組者，所有試驗組中以攝取含脂質 10% 的試驗組魚 (L10)

的平均成長率最高，但與 L8 和 L12 兩試驗組魚間並無顯著性差異。L12 試驗組的試驗魚，因試驗魚的個別成長差異過大，導致平均成長率低於 L10 及 L8 等試驗組者。若僅由單一魚體的成長結果顯示，L12 試驗組之少數魚類為所有試驗組中成長最快速。另在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% 之鞍帶石斑的乙醯輔酶 A 羧化酶 β (Acetyl-CoA carboxylase β) 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 (peroxisome proliferator activated receptor) 基因的表現與肝一體重比呈現正相關。經綜合初步分析結果顯示，建議飼料脂質添加量應為 7–8%，除可促進鞍帶石斑成長外，也不造成所蓄養魚的體型差異過大。

表 6-3 石斑魚餵飼以含不同油脂含量飼料 8 週後之成長及活存率**

| 飼料* | 增重率(%) | 活存率(%) |
|-----|---------------------|--------------------|
| L2 | 148.4 ^d | 100.0 ^a |
| L4 | 174.3 ^c | 100.0 ^a |
| L6 | 193.5 ^b | 88.9 ^b |
| L8 | 226.3 ^a | 94.4 ^b |
| L10 | 228.5 ^a | 88.9 ^b |
| L12 | 213.5 ^{ab} | 100.0 ^a |
| L15 | 198.6 ^b | 94.4 ^{ab} |

* Ln : n 表飼料中脂肪的添加量(%)

** 數據為三重複之平均值，同一行上標英文字母相同者表無顯著性差異(p > 0.05)

四、石斑魚飼料中以植物調和油部分取代魚油研究

本研究以植物調和油部分取代飼料中之魚油，並探討點帶石斑對植物調和油的利

用情形，以開發促進養殖魚健康的優質飼料。本試驗的油脂為以鱈魚肝油及不同植物油源調和而成的 (表 6-4)。經 8 週的養殖試驗，所有試驗組均未發現任何異常行為及病變，且各試驗組魚的總攝食量均無顯著性差異。各試驗組石斑魚的成長增重結果與飼料效率結果趨勢相同 (表 6-5)。在成長增重方面，以餵食 LC、LO 及 LI 飼料組之石斑魚的體增重率最高，並顯著高於 S 試驗組 (SI、SC、SO) 及 FO 者。而攝食含 18:2 n-6 飼料的試驗組魚 (SI、SC、SO) 中，以 SO 組的成長較佳，而 SI 組的成長率為所有試驗組中最差者。

攝取含 18:3 n-3 的試驗飼料之點帶石斑，其成長及飼料效率均優於攝取含 18:2 n-6 者。另在所有試驗組中，其成長和飼料效率均以 LC 組魚為最高。試驗所使用的油脂原料中的 18:2 n-6 和 18:3 n-3 兩脂肪酸含量，以芥花油高於橄欖油，因此由富含 18:2 n-6 的飼料 (S1、SC、SO)，其 18:2 n-6 的含量依序為 S1 > SC > SO，但攝取該試驗飼料的點帶石斑之成長情形恰與其所攝取飼料中的 18:2 n-6 含量相反 (SO > SC > S1)。由以上結果可知，點帶石斑除對高度不飽和脂肪酸有營養需求外，也對 18:3 n-3 和 18:2 n-6 有需求，然飼料中也需注意 18:3 n-3 和 18:2 n-6 的組成比例。再者以 L1 和 LO、S1 和 SO 試驗組兩兩比較，LO 和 SO 組魚的成長都優於 L1 和 S1 組者，其中又以 SO 組魚的成長顯著優於 S1 組者，由結果可發現，飼料中添加單元不飽和脂肪酸對點帶石斑的成長有正面效果。

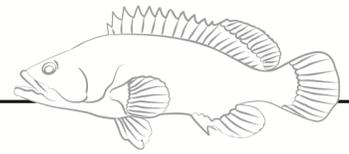


表 6-4 飼料中油脂混合物的來源及其添加量

| 油脂來源 | L1 | LC | LO | S1 | SC | SO |
|------|------|------|------|------|------|------|
| | g/kg | | | | | |
| 芥花油 | 0 | 17.5 | 0 | 0 | 17.5 | 0 |
| 橄欖油 | 0 | 0 | 17.5 | 0 | 0 | 17.5 |
| 葵花油 | 0 | 0 | 0 | 35.0 | 17.5 | 17.5 |
| 亞麻仁油 | 35.0 | 17.5 | 17.5 | 0 | 0 | 0 |
| 鱈魚肝油 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 |

表 6-5 石斑魚餵飼不同試驗飼料 8 週後之增重率、活存率、肝體比、飼料效率、肥滿度**

| 飼料 | 增重率(%) | 活存率(%) | 肝體比 | 飼料效率 | 肥滿度 |
|-----|---------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| L1 | 546.4 ^a | 97.8 | 1.64 ^b | 0.71 ^a | 2.99 ^{ab} |
| LC | 587.4 ^a | 100 | 1.53 ^{bc} | 0.72 ^a | 2.85 ^b |
| LO | 572.1 ^a | 100 | 1.80 ^a | 0.68 ^{ab} | 2.96 ^{ab} |
| S1 | 441.4 ^c | 100 | 1.84 ^a | 0.57 ^d | 3.28 ^a |
| SC | 481.5 ^b | 100 | 1.73 ^{ab} | 0.63 ^c | 3.04 ^{ab} |
| SO | 493.7 ^{bc} | 100 | 1.50 ^c | 0.62 ^c | 2.97 ^{ab} |
| FO* | 499.5 ^b | 100 | 1.76 ^a | 0.70 ^a | 3.02 ^{ab} |

* FO：以魚油 (fish oil) 為飼料單一油脂來源的對照組

** 數據為三重複之平均值，同一行上標英文字母相同者表無顯著性差異($p > 0.05$)

五、石斑魚的必需脂肪酸需求

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 (18:3 n-3) 和亞麻油酸 (18:2 n-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 (highly unsaturated fatty acids, HUFAs) (如二十碳五烯酸 (Eicosapentaenoic acid, EPA) 或二十二碳六烯酸 (Docosahexaenoic acid, DHA))；在冷水性淡水魚類虹鱖的飼料中添加 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。

本中心飼料研究團隊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：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。

實驗二：探討石斑魚稚魚對次亞麻油酸和亞麻油酸試驗，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：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；魚體肝臟中的 n-6 HUFA 濃度，可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效過顯著優於攝取未添加花生四烯酸者，顯示飼料中的花生四烯酸確對石斑稚魚有促進成長的效果。

綜合以上系列試驗結果，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 1% n-3 HUFA 和 1% 花生四烯酸，可使石斑稚魚達到最佳成長與其免疫反應受最大的激化。本中心已應用上述的研究結果於中間育成飼料開發之研究中，期望能開發促進石斑魚健康的優質中間育成飼料。

六、石斑魚飼料研發之未來發展

石斑魚的營養飼料相關研究雖稍有所進展，但仍不及石斑魚養殖產業的發展。迄今石斑魚飼料營養的研究，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，也未能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，且會是驅使石斑魚養殖達到完全人工配合飼料養殖終極目標。

參考文獻

- 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，143 pp。
- 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，65 pp。
- 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.
- Wu, F. C. and H. Y. Chen (2012) Effects of dietary linolenic acid to linoleic acid ratio on growth, tissue fatty acid profile and immune response of the juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*, 324-325: 111-117.
- 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*. *J. Nutr.*, 132: 72-79.
- 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 Immunol.*, 14: 223-238.