

巴拿馬阿丘梯尼斯試驗所之黃鰭鮪 繁養殖試驗研究(下)

陳紫嫻、鄭金華

水產試驗所東港生技研究中心

黃鰭鮪之陸上種魚培育及繁殖

阿丘梯尼斯試驗所 1996 年完成海水供排水設施及種魚池之建構後，積極在太平洋岸的 northwest Panama Bight 海域捕抓黃鰭鮪種魚並運輸至陸上種魚池培育。捕獲之黃鰭鮪平均約 2–7 kg，放養前在其背肌植入微晶片標識 (microchip implant) 及注射四環素 (OTC) 以長期追蹤其成長和生殖紀錄。平均而言，捕獲之野生種魚活存率約 50%，長期蓄養後，有 30% 成為產卵產精種魚族群。2003 年 Wexler 等人發表該試驗所於 1996–1999 年間養殖黃鰭鮪種魚之成長、活存、攝食及能量需求之報告，此研究為熱帶鮪類首度在陸上飼育池長期蓄養之重要資料。蓄養之黃鰭鮪種魚每日投與塞有綜合維他命之魚類及烏賊 (50% 魚及 50% 烏賊)。餵飼之魚類生餌如鯷魚 (thread herring, *Opithonema* spp.) 或鰱魚 (anchoveta, *Cetengraulis mysticurus*) 似乎能提供足夠的營養並讓種魚連續產卵。生餌的一般成分分析顯示，鯷魚與鰱魚提供的熱量卡路里值均高於烏賊。每日投予 50% 的烏賊是為了提供低脂餌料以減少種魚腹部脂肪之堆積。自 1999 年起，種魚池每年均補充較年輕及體型小之種魚，以確保黃鰭鮪種魚每年能連續產卵。飼育之種魚的成長速率隨

著體長及體重之增加而變慢，在 1996–2001 年為 8–48 cm/year (9–26 kg/year)，1999–2006 年為 4–65 cm/year (1–25 kg/year)。依據種魚之活存及成長資料，將大型種魚池之黃鰭鮪種魚飼養密度維持在不高於 0.50–0.75 kg/m³ 的範圍。捕獲的野生黃鰭鮪、產卵的黃鰭鮪種魚、受精卵及仔稚魚亦著手進行分子遺傳分析，藉此確認各別產卵雌魚及監測其生殖行為。遺傳分析研究確認了黃鰭鮪之核糖核酸蛋白基因之 intron 之變異及 microsatellite 之變異合於孟德爾遺傳，也由遺傳分析確認各別雌種魚在合適的水溫 (> 24°C) 及充足的餌料下可以維持每天產卵一段時間。黃鰭鮪之粒線體 DNA D-loop 序列遺傳差異極大，不僅可作藉以確認養殖黃鰭鮪種魚個體，亦可作為天然海域之黃鰭鮪族群結構調查之依據。黃鰭鮪種魚、卵及仔稚魚亦以 microsatellite DNA markers 及 single strand conformation polymorphism (SSCP) analysis 檢視其遺傳變異及生殖模式。

池中培育黃鰭鮪種魚之生殖動態

阿丘梯尼斯試驗所飼養於池中之黃鰭鮪種魚於 1996 年開始產卵，為全世界首次黃鰭鮪產卵成功的案例，往後亦每年連續產卵。

以往研究者僅能依據野外捕獲的鮪魚的生殖腺推測其生殖季節、間期、孕卵數及產卵之耗能，試驗所之種魚連續產卵提供了黃鰭鮪種魚之求偶、交配及產卵群聚行為、產卵生殖間隔及節律、種魚生理變化、影響產卵、孵化及仔魚早期發育及生物因子等最詳確之紀錄。

飼養於池中之黃鰭鮪種魚在水溫 23.3—29.7°C 會進行產卵（水溫為控制產卵之發生及時間的主要因子，水溫 24°C 以上時可每日產卵，雨季 5—12 月水溫 28°C 以上持續產卵，乾季水溫若低於 24°C 停止產卵），水溫條件及餌料充足時種魚可連續產卵。產卵前的 1—4 小時有求偶追尾行為，產卵群通常由 1 雌魚及 1—5 雄魚組成，一般有 2—8 產卵群在池中同時產卵。研究顯示，黃鰭鮪種魚大部分在 15:00—21:00 間產卵，產卵時間和日均溫成高度正相關，而魚卵發育階段時間則和日均溫成負相關，因此在 1996—2000 年間造成 95% 之魚卵孵化時間僅集中於 15:00 及 19:00 兩個時間。2001—2005 年種魚產卵及卵孵化亦有相同的型態，但於 2002 年 4 月水溫重覆劇變造成不典型的產卵時間（01:00—10:30）。黃鰭鮪產卵和孵化時間和日水溫高低變化之相關在鮪魚早期生活史上有極重要環境適應意義：在自然環境下，維持極固定且保守的孵化時間（晚下午及早傍晚）可確保剛孵出仔魚在孵化後 12—15 小時期間能處於微光或黑暗環境中，使仔魚被掠食死亡及受紫外線傷害降至最低。池中培育之黃鰭鮪種魚能夠隨水溫調節其產卵周期及每日之產卵時間，顯示黃鰭鮪具有極快速的統合水溫感覺資訊之能力，並在短時間內調整其

體內卵之最後成熟及排卵之賀爾蒙控制。池中種魚推估第 1 次產卵年齡介於 1.3—2.8 年（平均少於 2 年），在短時間（小於 1 個月）內產卵的雌魚由增加每日之攝食量（由 9 至 33%）而增加其產卵量（由 30 至 234%）。增加攝食量後之 4—21 天為產卵高峰期（平均為 12 天）。黃鰭鮪種魚可隨著餌料食物之豐富程度而增加產卵數量具有環境適應意義，如此可容許黃鰭鮪開發聚集小團塊之食物資源及間歇的增加生產量。

試驗所亦進行黃鰭鮪之捕獲、運輸及適應研究以及針對黃鰭鮪之標誌及應用腹腔植入記錄型標識以進行體內外環境資料之同步收集，此研究對於黃鰭鮪攝餌及產卵生態有進一步之了解（如攝餌時體溫下降 0.1°C、產卵排精時體溫升高 1°C），並希望相關數據可做為種魚產卵排精之預測。

黃鰭鮪之仔稚魚培育

黃鰭鮪受精卵在鹽度 30—33 psu 為浮性卵，平均卵徑 1.0 mm、乾重 43 μg。在產卵後 12 小時內，經由種魚池集卵區收集受精卵並放至孵化桶進行孵化及幼苗培育。水溫 28°C 時約 24 小時孵化出仔魚，剛孵化之仔魚平均體長 2.5 mm、體重 30 μg，而剛開口仔魚平均體長 3.3 mm、體重 22 μg。仔魚開口後投與經 Algal Mat 滋養之輪蟲、豐年蝦幼蟲、碎魚肉及笛鯛仔魚。水溫顯著影響（呈負相關）卵徑大小、卵發育期間、孵化時仔魚大小及卵黃囊仔魚期間。黃鰭鮪由早期仔魚成長至加入族群大小之稚魚（30 cm，6 個月大）之成長潛力極高（約為 1 百萬至 1 千

萬倍)。實驗室之黃鰭鮪仔稚魚成長試驗顯示，早期仔魚(孵化後第1星期)之成長呈指數增加(每日增加體長 < 0.3 mm、體重增加20–30%乾重)，後期仔魚及早期稚魚之成長有極顯著增加(每日增加體長 > 0.5 mm、體重增加30–50%乾重)。水溫雖然會強烈影響仔稚魚之代謝速率及生理機制，但在仔稚魚期之體成長上，食物可利用度之影響較水溫更大。餌料生物之數量及組成控制仔稚魚之成長速率，在實驗室中，當後期仔魚(體長 > 7 mm)之攝食餌料由動物性浮游生物轉變為小魚時，其成長急速增加；在天然環境下，仔魚開始攝食除有助於成長外，並可減低本身被捕食之危險。在實驗室中，黃鰭鮪仔魚開口攝餌後2星期之成長和養殖密度有關，增加仔魚2–3倍之飼養密度最高會導致其減少35%的體重。養殖過程中，仔魚開口攝餌後1星期內，微弱擾流會強烈影響仔魚攝餌之成功率及活存率，但在仔魚開口攝餌1星期後，中程度擾流(約 $1 - 2.4 \times 10^{-8} / m^2 s^3$)則有助於仔魚攝食及活存。有助於仔魚攝食之中程度擾流經換算為天然海域的情況相當於風速2.6–4.5 m/sec在10–20 m深處所致之風混合擾流，此風浪混合擾流和鮪魚之仔稚魚資源添加量有關。黃鰭鮪仔稚魚、幼魚及成魚之視覺敏感度和攝食有關，成魚至少有3種視覺色素並且能分辨顏色，仔稚魚不僅具有成魚之視覺色素(對紫色及藍色敏感)，尚有對綠色敏感之視覺色素，成魚對於藍紫光譜敏感可能是對外洋藍海之適應，而仔稚魚則是對其棲息處及浮游生物攝食之適應。

結語

目前全世界進行黃鰭鮪之繁養殖試驗的機構很多，但除了The Archotines Laboratory之黃鰭鮪種魚在1996年後每年持續產卵外，其他(如印尼巴里島鮪魚試驗機構)的產卵情況均不穩定，本所養殖之黃鰭鮪種魚則尚無產卵紀錄。研究人員認為不同族群之太平洋黃鰭鮪的體形及產卵生態可能有所差異，東太平洋岸黃鰭鮪體形小、攝餌產卵洄游水深約200–300 m，而西太平洋岸者則體形較大、攝餌產卵洄游水深較深(可能達2,000 m)，因此在進行種魚培育及產卵池之池深及水溫調控等試驗時應考量族群習性之差異。日本之Amami station of the Fisheries Research Agency (FRA)以及Fisheries Laboratory of Kinki University於2002年已可進行太平洋黑鮪(*Thunnus thynnus orientalis*)之完全養殖，並於2007年商業化量產魚苗供外海箱網養殖；在地中海區域養殖於義大利外海箱網的大西洋黑鮪(*Thunnus thynnus thynnus*)種魚經荷爾蒙植入後3日，於2008年6月初，4天內產下約1千萬粒受精卵；澳洲Clean Seas Tuna Ltd.養殖的南方黑鮪(*Thunnus maccoyii*)在2009年4月亦成功的大量產卵及培育出魚苗。鮪魚一直是世界各國相互競爭的重要漁獲種類，近年來因漁獲量減少，鮪魚之養殖及其資源之增進成為各鮪類大國的研發重點，台灣的鮪魚繁養殖研究亦應加強及加速，在水產種苗之生產尚具領先優勢下急起直追，以提高國際競爭力並早日造福產業。