

水產種原之保種與育種 (上)

劉富光

水產試驗所

前言

在人工養殖或天然環境下，水產種原會因其他品種的混入而發生變異，導致種原混雜或退化甚至危及種的存亡。因此，種原的保存、維持與強化，不但可確保種原的生生不息，亦可經由遺傳育種方式來改良品種，讓產業得以永續經營。

一般而言，種原庫建立的目的主要為：
(1)使原種能夠隔離繁殖，不與其他品種雜交，以保持種的純度；(2)維持和提高種原遺傳特性與生產性能，防止不必要之近交與其引起的近交衰退；(3)避免人為的過漁、污染環境、棲地破壞及天然災害造成的種原減少或滅絕；(4)為確保種原的存續、分攤保種風險，異地保種是一項必要的策略；(5)透過育種手段，生產優質種苗以應推廣產業之需。因此，種原庫的建立便有其不可或缺的重要性。

水產生物的品種改良，通常都透過定向選擇方式，選育優於親本性狀的子代，並以遺傳操作技術來生產性狀較優的子代。然而，一般的選擇育種，都是利用表型的差異來進行選種，因礙於環境的影響與選擇強度的限制，往往遺傳力較強的性狀才能得到好的選擇效果，反之，則無法達到預期效應。此外，雜交育種技術，由於無法由外觀判定

優質個體，只能經由不斷的雜交方式來獲得優良品種，因此必需經過幾個世代的時間才能達到育種目的。可是話說回來，傳統的育種遺傳只要選到合適的親本，配合精確的養殖管理系統，雖然需要較長的育種時程，但由於具有實質效果，所以迄今仍為品種改良的主要途徑。所幸，標誌輔助育種 (marker-assisted selection, MAS) 技術已隨著科技發展的日新月異，未來完整的數量性狀基因座 (quantitative trait loci, QTL) 圖譜將使得基因精確的定位成為可能，如此一來，標誌輔助育種勢必為遺傳育種工作另闢一條便捷之路。

本所於 2006 年起陸續興建完成國家水產生物澎湖、鹿港及台東種原庫，其最主要的目的在執行經濟性及本土性淡、海水水產生物的保種與育種工作，以保存優良品系，同時進行品種改良，以便生產優質種原，提高產業國際競爭力，從而確保產業的永續發展。本文旨在介紹種原庫水產生物保種與育種的理論與方法，以供產、學界之參考。

保種

養殖魚類理想的遺傳性狀，包括：體型大、生長快速、飼料效率高、取肉率高、肉質良好及抗病力強等，一般經過長期養殖的

結果，多少會發生近親交配現象而引起遺傳性狀改變或降低，因此為了維持遺傳性狀，必須對種原進行嚴密的保存。

近親交配係指有親緣關係的個體互相交配，而使得這個群體的純合基因型增加的現象。近交率 (inbreeding rate) 是衡量被選擇 (天然或人工) 物種近交衰退的指標。可衡量某個體任一基因座的兩個等位基因來源於同一個祖先基因的概率，亦可推測某個體某基因座在其後代中純合的機率。近交常導致某物種表型性狀的降低，此現象稱之為近交衰退 (inbreeding depression)。近交衰退對與適應性有關的綜合性狀，如：活存率、繁殖力及競爭力等，比對形態之影響更易表現。

人工養殖族群屬小群體，無法避免近交問題，只有仰賴增加遺傳有效族群數才能抑制。遺傳有效族群 (N_e) 的估算式： $N_e = (4 \times N_{\text{♂}} \times N_{\text{♀}}) / (N_{\text{♂}} + N_{\text{♀}})$ ，若雌雄性比為 1 : 1，則 $N_e = 2 N_p$ (N_p ：種魚數)。如果養殖有效族群數大於 50，則隱性有害等位基因的頻率很小且大都存在於雜合子中，鮮少出現近交衰退，既使出現，也由於基因雜合個體之性能較優，而在自然或人工選擇中被淘汰。換句話說，根據此計算式，種原庫各魚種的保存數量約 50—100 對左右，使近交率維持在 0.25—0.5% 以內 (近交率 (IR) = $1/2 N_e$)，以降低近交衰退發生之可能。

養殖種原保種的數量，要確實堅守有效族群數的原則，以避免近親交配引起的近交衰退。不論採取那一種選擇育種方法，每代的近交率至少要控制在 1% 以下。控制的方法惟有靠建立隔離的全同胞家系育苗作業，以保持更多的加性遺傳變異，才能有效控制

近交衰退。養殖保種經過一段時間的隔離，難免會累積有害等位基因，應利用野生群與養殖群間的雜交或者將種原保存在不同的育種場所，有計劃的定期進行各場所間的親本交換，如此才可掩蓋隱性有害等位基因的負面效應。

育種

水產養殖品種的改良，主要為遺傳育種的操作，其操作方式可分為三種：

一、選擇育種

選擇育種 (breeding selection) 是魚類繁殖與品種改良的傳統而有效的方法，係利用生物的遺傳變異性 (genetic variation)，按照自己的意願迅速選擇、固定和發展對人類有益的變異，最後分離出優良性狀，並與原來族群隔離，形成人們要求的新品系，如進一步達到穩定性狀與經濟價值而可繁殖推廣者，便可成為新品種。

(一) 選擇育種的原理

不產生新的遺傳基因，依育種目標的表型，從中選優的原則—在族群中選擇一定數量等符合目標條件的優良個體，持續進行多代系統“定向”繁殖，累積加強與擴大生物體優良變異遺傳性狀，或在族群內增加具有目標條件的基因頻率，而降低非目標不必要條件的基因頻率，最後達到育成新品系、新品種以及退化物種或族群提純壯大等目的。

1. 人工選擇的創造性作用

自然選擇所保留下來的生物符合自然界的的要求，但不一定符合人們的意志。人工選擇是人們按照自己的意願，對自然界現存生

物的遺傳變異性進行選擇，使那些對人類有益的變異鞏固和發展，最後與原來的族群隔離，形成符合人們要求的新品種或品系。人工選擇控制了交配對象和交配範圍，選擇效果比自然選擇快得多，在自然界形成一個新種大約要經過 50—100 萬年，而人工選擇只要幾十年或幾年就可以創造出一個新品種。

2. 可遺傳的變異是選擇的基礎

變異可以分為可遺傳的變異和不遺傳的變異兩種。體細胞的變異只能在個體內增殖或者在體細胞層次上遺傳，不能經由有性生殖傳給子代。環境所引起的變異如果不涉及性細胞遺傳物質的變異，也不能遺傳。只有發生在性細胞遺傳物質的變異才能遺傳。

3. 選擇的主要依據是表型

根據基因型選擇才能收到好的選擇效果，基因型看不見，必須經由表型去選擇。在顯性不完全的情況下，雜合體表型不同於任何純合體，容易識別，根據表型可以直接判斷任何一種基因型，並進行選擇。

在顯性完全時，對於隱性純合子的判斷和選擇也較容易，因為隱性純合子的基因型和表型相一致，只需依據表型就可選準隱性純合體。但是對於顯性純合子的選擇和判斷則較麻煩，因為顯性純合子和雜合子的表型相同，還需借助子 2 代或測交才能區別基因型。質量性狀的選擇只需一代或兩三代的個體表型選擇就可選準、選好。

數量性狀的基因型和表型的關係比較複雜，一方面性狀容易受環境影響，個體的表型值不能如實地反映基因型。另一方面，數量性狀受多基因控制，影響數量性狀的每一基因的表型值比環境的影響小得多，因而，

不可能單獨把單個基因檢測出來，所以數量性狀的選擇較麻煩。

4. 定向選擇加近交是選擇育種的基本方法

定向選擇就是按照育種目標，在相傳的世代中選擇合意表型的個體作親本，以求選出合意基因型個體做種。經由表型的再選擇，使存在於入選個體的不合意基因和合意基因在近交中彼此分離，淘汰不合要求的基因型。定向選擇並不產生新基因，而是讓下一代增加合意基因的頻率，減少不合意基因的頻率，使入選個體的基因型和表型趨於一致，從而保留或選出所需要的基因型。

近交可為合意基因和不合意基因的分離和純化提供最佳的交配方式，以使合意基因型盡快地純合、固定和發展，早日形成新品種。近交是定向選擇所需的最好交配方式，近交的極端形式是自交或同胞交配。選擇的創造性作用不僅在於人類能夠主動的發現和選取可遺傳的有益變異，使性狀優良的個體增加交配機會，抑制或禁止它們同那些具有不利性狀的個體交配，並經過一再的定向選擇，使入選生物的遺傳性朝著人們所需要的方向發展，培育出新品種。將入選為親本的優良個體相互交配，在後代中定向選擇和近交，將是實現這一目標的最有效的方法，也是選擇育種的基本原則。

(二) 質量性狀的選擇育種

質量性狀是由一對或數對基因的差別所構成，其表型不易受環境的影響，所以較易選擇。

1. 對隱性基因的選擇

如果目標性狀受隱性基因控制，則須選擇隱性基因，保留隱性性狀的個體。選擇隱

性基因與淘汰顯性基因屬於同一件事。例如，金魚的單尾鰭對雙尾鰭是顯性基因對隱性基因，因此由表型即可選擇。

2. 對顯性基因的選擇

如果目標性狀受顯性基因控制，對該性狀之選擇實際上就是對顯性基因的選擇，需選擇顯性基因純合體，淘汰隱性基因純合體及帶有隱性基因之雜合體。其實，對顯性基因的選擇就是對隱性基因的淘汰。例如：金魚的單尾鰭的選擇，就是對顯性基因之選擇。

顯性基因可能係純合體 (AA)，也可能是雜合體 (Aa) 形式，其表型都一樣。因此，顯性基因的選擇，不只要淘汰隱性性狀，且需區別出顯性純合體與雜合體，並將雜合體淘汰。其方法步驟如下：

- (1) 根據表型淘汰隱性純合體 (aa)，選擇具有顯性性狀的個體做親本 (Aa, AA)。
- (2) 從被選親本的顯性個體進行測交或自交，依其結果，淘汰雜合體，便可選出顯性純合體。

測交： $AA \times aa \rightarrow Aa$

$Aa \times aa \rightarrow 1/2Aa + 1/2aa$

自交： $AA \times AA \rightarrow AA$

$Aa \times Aa \rightarrow 1/4AA + 1/2Aa + 1/4aa$

如果測交或自交後代有很多個體，都表現顯性性狀，沒有隱性性狀的後代，這樣的後代越多，就越有把握推斷該親本的基因型處於顯性純合狀態 (AA)。若是後代中出現一個 (株) 隱性個體，不管顯性個體有多少，都可推斷該親本的基因型是雜合體 (Aa)。

3. 對無顯隱性關係基因的選擇

如果控制質量性狀的等位基因在雜合體

中無明顯的顯隱關係，而是共顯性或不完全顯性，則區分純合體和雜合體的工作就較容易，而且可以在選擇的第一步驟完成，因為等位基因的純合體 (AA 或 aa) 或雜合體 (Aa) 各有其對應的獨特性狀，容易由表型區分和選擇。

例如：金魚 TT (非透明魚) \times tt (透明魚)

↓
 Tt (五花魚)
↓

$1/4$ (非透明魚) + $1/2$ (五花魚) + $1/4$ (透明魚)

(三) 影響數量性狀選擇效應的因素及其參數

數量性狀是育種的目標性狀，在養殖或自然群體中，其表型值一般呈常態分布。選擇育種通常是對該分布的某一極端附近的個體進行定向選擇，淘汰平均數附近至另一極端的表型個體，選擇偏離平均數一端的合意個體，以定向改變群體的遺傳組成，提高或降低某一數量性狀的平均值。

數量性狀易受環境影響，其表型值是基因和環境共同作用和相互作用的結果。在某種環境條件下選育出的優質者，到另一環境條件下則不一定優質。

Kinghorn (1981) 指出，攝餌量大的虹鱒生長較快，可是餌料係數高，在餌料不足條件下選育的優良品種，當餌料充足的環境下，就不一定能呈現生長速度快的優點。同理，在餌料充足下選育的品種，在餌料不足的情況下，不一定能成為優良品種。所以，選擇育種應該選擇適宜的環境條件下進行。

數量性狀的表型值也容易受基因的非加性效應影響，必須應用生物統計和數量遺傳學的原理，從性狀的表型值中排除它們，選擇育種才能依可遺傳的基因加性效應進行。



特別報導

數量性狀的選擇效應受性狀的變異程度、性狀的遺傳情況和選擇情況等三方面因素的影響。變異程度和遺傳情況是影響選擇效應最主要的內部因素，選擇情況是影響選擇效應的外部因素，在某些條件下會對選擇效應產生影響。一般性狀選擇效果的參數主要有：

1. 平均數 (mean, \bar{x})

平均數即算術平均數，是指某一性狀的一系列觀測值的平均值。平均數的計算式為：

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

其中 \bar{x} 代表平均數， $\sum X$ 表示各個測定值 (X) 的總和， n 代表測定值的個數。

2. 均方 (variance, V)

平均數僅能反映性狀的平均表現，但不能反映個體性狀間的變異程度，為了表示樣本數與平均數的偏離程度，反映該性狀個體間的差異，必須採用均方。

均方是樣本各測定值與平均數差值平方和的平均值，計算公式為：

$$V = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

其中， V 表示均方， $(x - \bar{x})$ 是測定值與平均數的差， $\sum (x - \bar{x})^2$ 是測定值對平均數離差值平方和， n 是測定值的個數， $n-1$ 表示自由度。

從公式和定義知道，均方一定是正值，測定值離平均數的偏差越大，均方就越大；測定值離平均數偏差越小，均方就越小。所以，均方可以用來測定變異的程度，均方大，表示分布範圍廣；均方小，表示各測定值比

較接近。

3. 標準偏差 (standard deviation, SD)

標準偏差是表示變異程度的另一個統計用語，它是均方的開平方，因此，計算式是：

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

公式中的 SD 代表標準偏差，或簡寫為 σ 。由標準偏差可以推知一個性狀圍繞平均數的變化情形。假定測定數據能代表該性狀在一定群體的情況，則在常態分布 (normal distribution) 下，大約有 68% 的變量 (或樣品) 出現在 $\bar{x} \pm SD$ ，有 96% 的變量出現在 $\bar{x} \pm 2 SD$ 內，有 99.7% 的變量出現在 $\bar{x} \pm 3 SD$ 內。

4. 標準誤差 (standard error, SE)

標準誤差也稱平均數的標準差，若對一個性狀或群體進行 n 次隨機取樣，所得的平均數就有 n 個，即 \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 、..... \bar{x}_n ，這 n 個平均數之間也有標準差，這個標準差稱為平均數的標準差。為了方便起見，並與前面所述的標準差相區別，常稱之為標準誤差 (SE)，在數值上等於：

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

標準誤差可以說明隨機取樣中，平均數的可能變異範圍，如果測定的幾個數據能代表一個性狀或足夠大的群體，那麼大約有 68% 的平均數，分布於 $\bar{x} \pm SE$ 內，有 96% 的平均數分布於 $\bar{x} \pm 2 SE$ 內，有 99.7% 的平均數分布於 $\bar{x} \pm 3 SE$ 內。一般生物資料，單註明平均數往往是不夠的，應該加上標準誤差，表明平均數的可能變異範圍。