



滿足牠們的「口與眼」 —海水魚苗培育所需面對的挑戰

邱沛盛、何信緯、黃政軒、朱永桐、許晉榮

水產試驗所海水養殖研究中心

前言

海水魚類的養殖技術現已被應用於穩定生產特定魚種，以供應糧食及觀賞水族飼養需求。不論是食用魚及觀賞魚，皆一定程度的仰賴野外採捕，而相關的漁獵活動可能會對這些海水魚類的族群及生存環境造成威脅及干擾，最終造成海洋資源匱乏。因此，持續精進海水魚類的水產養殖技術可減緩資源量下降及確保其永續利用 (Chen et al., 2020; Madhu et al., 2016; Moorhead and Zeng, 2011; Palmtag, 2017; Sadovy et al., 2001)。在發展海水魚類的養殖技術過程中將面對許多挑戰，

其中「魚苗培育」(larviculture) 被認為是最重要的一項 (Callan et al., 2018; Holt, 2003)。

海水魚苗通常相當微小、脆弱 (圖 1)，對環境及水質的變化相當敏感，在營養需求上也較稚魚及成魚嚴格，通常在孵化後 48—96 小時即需開始攝食，因其卵黃囊多半已消耗殆盡，開始要由內因性營養期轉換為外因性營養期，此時需要捕食外源性的食物，稱為「首次攝食階段」(first feeding stage)。如果飼養人員沒有在適當的時機投餵餌料而使魚苗「餓到」，即便之後再補充餌料，魚苗也無法順利成長、活存，造成無法挽回的結果，稱之為「不可逆致死點」(point of no

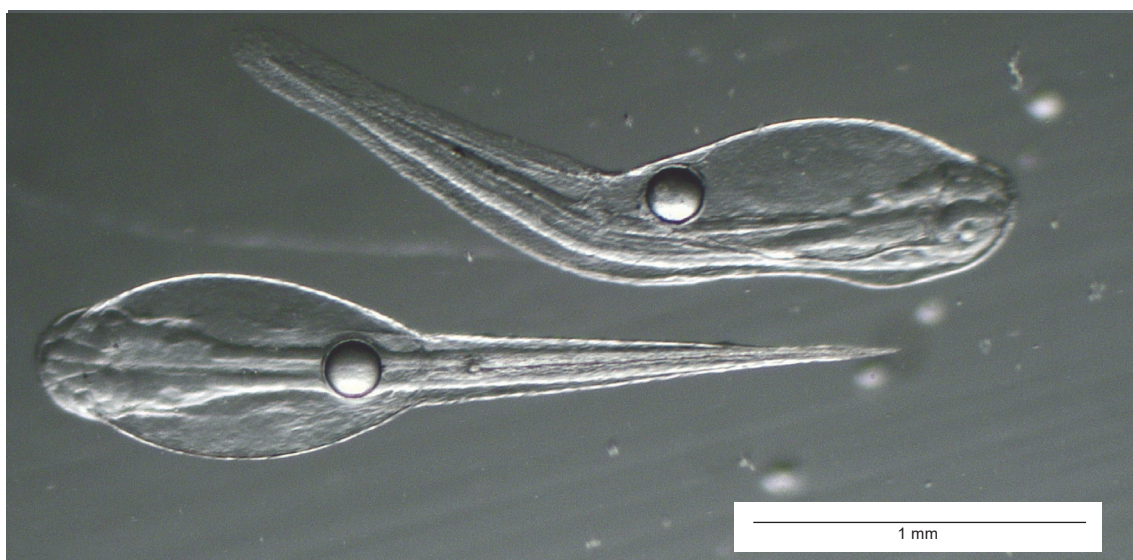


圖 1 卵黃囊期的魚苗，眼睛及口部都尚未發育完全，相當脆弱

return, PNR) (Baensch and Tamaru, 2009; Callan et al., 2012; Leis, 1989; Leu et al., 2015; Suzuki et al., 1980; Pereira-Davison and Callan, 2018)。因此，常見到前一天觀察育苗池內還有密密麻麻的魚苗，隔天觀察卻大量減少甚或完全消失的狀況。

總之，讓魚苗成功捕食餌料生物以度過首次攝食階段已然成為海水魚苗培育所需面對的關鍵挑戰；影響捕食餌料成功與否，取決於多項因素，這些因素可以總結為魚苗「口與眼」的需求。「口的需求」與動物性餌料生物有關，包含餌料生物的種類、大小及密度等，「眼的需求」視該魚種視覺能力而定，環境光照及濁度亦有顯著影響，此外也有些因子同時與口、眼需求相關，例如水中微細藻類的添加。當我們要開發一新魚種的繁養殖技術時，深入探討並建立這些參數對成功培育魚苗至關重要。

口的需求－餌料生物種類

提供海水魚苗所需的餌料生物體型往往受限於其口徑大小，輪蟲 (rotifers) 大小約 100–250 μm (圖 2)，為海水魚苗培育常用的初期餌料生物之一，可以大量培養與高密度養殖，經常應用在石斑魚、鯛科魚類、黃臘鰻、虱目魚及午仔魚的育苗過程，但對一些口徑較小的珊瑚礁魚類來說可能不太適合。橈足類 (copepods) (圖 3) 是海水魚類天然的餌料生物，富含 n-3 多元不飽和脂肪酸 (DHA 及 EPA)，可促進魚苗的成長及活存，因此，針對小口徑的珊瑚礁魚類通常透過浮游生物網篩出大小在 60–80 μm 之間的橈足類無節

幼生作為初期餌料。魚苗對不同種類的餌料生物會有選擇偏好，在一項培育粟點蝴蝶魚 (*Chaetodon miliaris*) 的研究中發現，以同樣大小的輪蟲及橈足類投餵魚苗，魚苗對橈足類的攝食強度高於輪蟲 (Degidio et al., 2017)。原因在於橈足類一跳一停的運動模式通常比輪蟲緩慢轉動的運動模式更能吸引魚苗的捕食，另外也因為營養成分高於輪蟲，因此攝食橈足類的魚苗活存率與成長情形較佳 (Calado et al., 2017; Hamre et al., 2013; 2008; Stottrup, 2000)。



圖 2 顯微鏡下的輪蟲



圖 3 顯微鏡下的橈足類



口的需求－餌料生物密度

當我們找到適合目標魚種的餌料生物後，下一步即要確認「到底要投餵多少量才夠？」，因此水中最適餌料密度的探討也成為重要課題。如果在魚苗首次攝食階段沒有維持適當的餌料密度，常常會造成魚苗成長低下以及死亡率增高 (Puvanendran and Brown, 1999; Tsai, 1991)，而在適當範圍內提升餌料密度，則有助於增加魚苗捕食到餌料的機率，進而增加活存率 (Rabe and Brown, 2000; Temple et al., 2004)。Chen and Zeng (2021) 在培育弗氏擬雀鯛 (*Pseudochromis fridmani*) 的研究中即發現，1 ml 的海水中至少維持 15 隻輪蟲 (密度 15 rotifer/ml)，比起 2 隻及 5 隻輪蟲 (2–5 rotifer/ml) 的組別，魚苗成長表現更好。對黑尾海豬魚 (*Halichoeres melanurus*) 而言，則維持橈足類無節幼生密度 5–10 隻/ml，比起 2.5 隻/ml 的組別，魚苗攝食發生率更高 (Groover et al., 2021)。然而，某些魚種的攝食強度並沒有隨著餌料密度的增加而提升，對栗點蝴蝶魚、小鋸蓋魚 (*Centropomus parallelus*) 而言，餌料密度維持在 1–30 隻/ml，對於魚苗攝食率並無差異 (Degidio et al., 2018; Temple et al., 2004)。一般來說，當餌料密度持續增加到某一閾值時，魚苗的活存率與成長表現就不會再隨之提升了，而這與魚苗的消化吸收及胃排空率有關 (Rabe and Brown, 2000)，過多的餌料密度也有可能降低攝食率，因為過多的餌料生物在水中有可能會使魚苗產生「不知該捕食哪一隻輪蟲或橈足類」的混淆效應 (confusion effect) (Temple et al., 2004)。因

此，最適合的餌料生物密度，仍然需要透過實驗測試。

眼的需求－光週期

Villamizar 等人 (2011) 指出，增加光週期 (延長光照時數)，有助於提升魚苗的發育以及活存。這是因為魚苗是「視覺捕食者」 (visual predator)，非常仰賴眼睛去鎖定想要捕食的餌料 (圖 4)，因此特別需要光 (Andrade et al., 2011; Pena et al., 2004)，在有光的情況下才可能捕食餌料，反之，在黑暗的環境中，魚苗無法攝食。在一項培育大西洋鱈 (*Gadus morhua*) 魚苗的研究中，給予 24 小時的光照環境，相比於其他光週期，魚苗成長明顯較佳 (Puvanendran and Brown, 2002)，這是因為較長的光照條件可以延長魚苗攝食的時間，促使魚苗獲得更多的營養用於成長。然而，在黃高鰭刺尾鯛 (*Zebrasoma flavescens*) 首次攝食的實驗中發現，延長光照時間至 24 小時反而造成魚苗攝食發生率下降，而 16 小時的光照反而有更好的結果 (Pereira-Davison and Callan, 2018)。對某些魚種而言，也許需要一些「休息」時間 (即一些無光照的時間)，使捕食到的餌料生物營養能夠有時間被消化吸收，如果一直吃不停、消耗體力去捕食餌料，反而使魚苗活存率大幅下降 (Downing and Litvak, 1999)。同樣的現象也在擬刺尾鯛 (*Paracanthurus hepatus*) 的育苗研究中被發現，研究人員在育苗過程給予 16 小時的光照，魚苗首次攝食階段的活存率及成長表現優於 24 小時光照的組別 (Sowaske et al., 2023)。



圖 4 魚苗眼睛發育完全時，可開始尋找與捕食餌料生物

眼的需求－光強度

研究顯示增加光強度有助於增加水中餌料生物的對比度 (prey contrast)，使魚苗更容易「看見與鎖定」餌料生物，進而捕獲之 (Pena et al., 2004)。這個現象已經在花斑刺鯷 (*Plectropomus leopardus*)、拿騷石斑魚 (*Epinephelus striatus*)、條紋鋸鯧 (*Centropristis striata*) 及大西洋鱸的魚苗培育實驗中被證實 (Yoseda et al., 2008; Ellis et al., 1997; Copeland and Watanabe, 2006; Puvanendran and Brown, 1998)。光照強度由 1,500 lux 提升至 3,000 lux 被證實有助於提升黃高鰭刺尾鯛孵化後第 3 天魚苗的攝食發生率 (Pereira-Davison and Callan, 2018)。然而，對栗點蝴蝶魚來說，魚苗在 1,314 lux 條件下的攝食率反而高於在 3,016 lux 環境 (Degidio, 2014)。光強度的需求在不同物種間可能有很大的差異，且疑似與魚苗的生態及牠們自然棲地的光強度有關 (Copeland and Watanabe, 2006; Puvanendran and Brown, 2002; Van der Meeren et al., 2007)。

與口及眼有關的需求－微藻添加

在培育海水魚苗的時候添加一種或多種微細藻已是慣行方法，經微藻添加後水色會從原本的清澈變為綠色或褐色，通稱為「綠水」 (green water) 養殖技術 (Majoris et al., 2018; Meirelles et al., 2009; Moorhead and Zeng, 2011; Olivotto et al., 2010; Basford et al., 2021)。微藻添加亦與魚苗「口與眼的需求」有關，水中之微細藻類可供餌料生物濾食，提升餌料生物的營養價值，使魚苗捕食這些餌料生物後，可以間接獲得這些營養 (Cobcroft et al., 2012; Naas et al., 1992; Palmer et al., 2007)；因微細藻類富含許多海水魚苗所需的必需脂肪酸，特別是等鞭金藻 (*Isochrysis* sp. 及 *Tisochrysis* sp.)，在水產養殖育苗上被廣泛應用與重視 (Latsos et al., 2020; Mai et al., 2021; Pan et al., 2022)。除了滿足魚苗「口的需求」，微藻添加也對魚苗「眼的需求」產生貢獻，創造綠水環境與射入水中的光線相互作用可增加餌料生物與背景的對比度，使魚苗更容易鎖定獵物，進而提升捕食率 (Degidio et al., 2018; Pereira-Davison and Callan, 2018)，這個特性跟上述提到「光強度」變化有相似效果。另外綠水環境也可以提供隱蔽性，進而降低魚苗因為趨光性而不斷衝撞池壁的「撞頭症候群」 (head-butting syndrome) 發生率 (Cobcroft et al., 2012; Madhu et al., 2016)。撞頭症候群可能導致魚苗頷骨畸形，使魚苗捕食能力下降、營養不良 (Cobcroft and Battaglione, 2009)。

研究發現不同微藻種類對魚苗捕食發生率有顯著影響，Sowaske 等人 (2023) 在一項培育擬刺尾鯛魚苗的研究中發現，添加等邊金藻 (*T. lutea*) 來創造綠水環境對魚苗捕食



橈足類的發生率有顯著提升，魚苗捕食率優於添加角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*) 及周氏扁藻 (*Tetraselmis chuii*) 的組別。因此。在藻種的選擇上需要多加注意，不是任何的微細藻都會對魚苗有正面影響。藻類添加的密度 (濃度) 也同樣影響魚苗的攝食與活存，舉例來說，對弗氏擬雀鯛魚苗而言，在投餵同樣的餌料生物情況下，添加擬球藻膏 (*Nannochloropsis paste*) 密度達 3.40×10^6 cells/ml 的組別，魚苗活存率優於密度 1.13×10^6 cells/ml 的組別。排除魚苗攝食的因素，單就魚苗從受精卵孵化到開始攝食這段 2—3 天時間，水中微細藻密度也會影響活存率。在一項測試不同藻類密度對黑尾海豬魚魚苗孵化後到攝食前的活存率影響試驗發現，藻類密度添加 $5 \times 10^4 - 2 \times 10^5$ cells/ml 的組別比完全不添加藻類的組別，魚苗活存率更高 (Groover et al., 2021)。因為魚苗剛孵化時眼睛尚未發育完成，也缺乏色素的保護，對光相當敏感，而提供一些藻類創造綠

水環境、降低水中光照度，可以讓光敏感的魚苗被保護，進而提升活存率 (Villamizar et al., 2011) (圖 5)。此外也有報告顯示，添加微細藻使得濁度升高也可以使得魚苗的殘食率 (cannibalistic rate) 降低 (Su et al., 2020)。

結語

海水魚苗的培育雖然是一門科學，但其實也像是一門藝術，需要關注與口、眼需求相關的所有因子，讓它們共同為魚苗營造理想的攝食環境，才能攻克育苗過程的挑戰。當我們回顧的文獻越來越多時，會發現這些因子之間其實也不一定用「口或眼的需求」來劃分，因為很多因子是互相影響的，也同時牽動口與眼，例如藻類密度、水中濁度與光強度。因此我們需要針對目標魚種一一去探索，以建立適合的育苗策略。這個探索過程雖然繁瑣、耗時，但投入研究的過程也給予我們研究人員許多的樂趣。

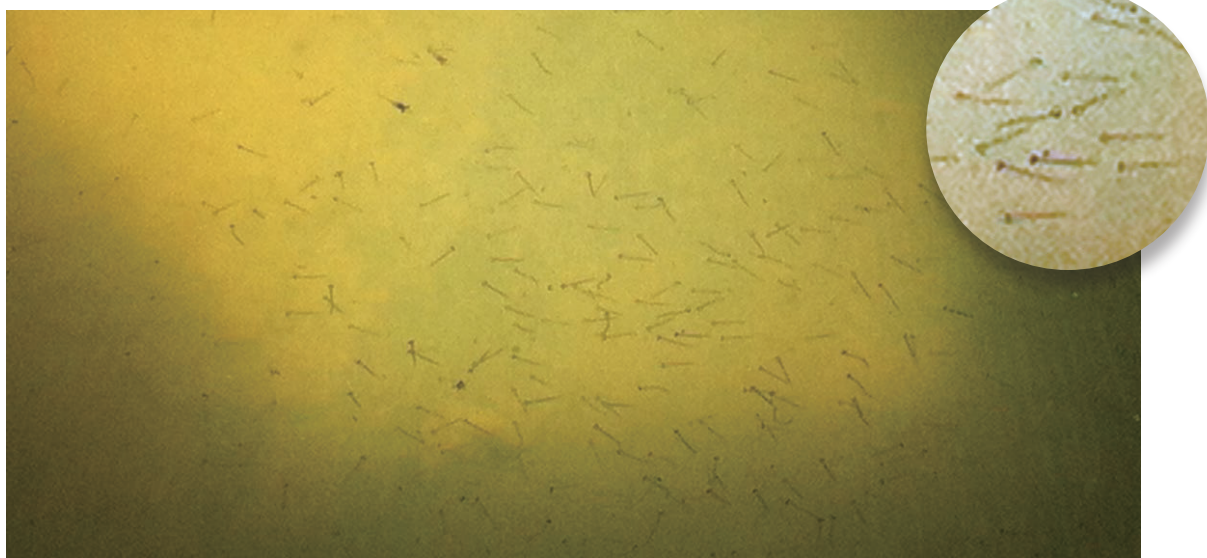


圖 5 在綠水中的魚苗，可提升攝食率、活存及成長表現