

附著藻菌在水產養殖之探討

溫鈺涓、楊順德

水產試驗所淡水繁養殖研究中心

前言

水產養殖業的營運成本包括養殖排放水的處理、水質的維護以及飼料投餵等各項費用，其中，飼料成本佔了營運支出的最大宗。魚粉為飼料主要原料之一，其價格往往導致飼料成本的波動。秘魯為全球最大的魚粉生產國，在 2019 年秘魯鯉魚可捕獲量減少 36%，也代表全球魚粉的價格將不可避免地持續上漲。因此，如何在不影響魚隻生長的情況下尋求替代營養來源，同時藉由降低飼料投餵量以減少成本支出，進而提高養殖業者的收益，成為產業永續發展的重要課題。

對於有機水產養殖業者來說，飼料成本的影響甚至更為明顯，主要是因為有機飼料的價格是一般常規商業飼料的 2 倍，大大提高了養殖營運成本的支出。為了有效的解決有機吳郭魚有機養殖中的這個問題，除了進一步尋找符合有機法規，並且相對便宜的飼料來源之外，也可以透過池塘中附著藻菌 (periphyton) 的培養，增加水體中的天然餌料，以減少人工飼料的投餵量。此種方式不但符合有機養殖的概念，同時也可以降低養殖生產成本，最重要的是，對魚隻生長也不會產生負面影響，達到一舉數得的效果。

附著藻菌之生長條件

Stevenson (1996) 將附著藻菌定義為在基材上所有微藻類、細菌和真菌。一般以水溫範圍在 24—36°C 之間的環境最為適合，雖然一年四季皆可以生長，但不同季節的增長量卻不盡相同。例如在春季和夏季時期，隨著日照時間拉長，光照增強等各項外在因素，附著藻菌的增長表現明顯優於氣溫較低的秋冬季。Levy et al. (2017) 研究指出，在初夏時節，附著藻菌經過 1 週的培養後，產量可達 13 g AFDW (ash-free dry weight)/m²/日，明顯優於春、秋季。若僅就春、秋兩季長期培養的實驗數據看來，附著藻菌在春季的生產量較佳，培養至第 35 天的生物量甚至高於秋季培養 49 天者；春季和秋季的附著藻菌日平均生產量分別為 2.4 和 1.8 g AFDW/m²/日。另外，附著藻菌的每日增長速率 (specific growth rate, SGR) 也同樣隨著季節而改變，且與溫度變化呈現正相關，溫度每上升 1°C，其每日增長速率增加約 1.4%。附著藻菌培養前 2 週期間，最高日增長速率為夏季的 27%/日，最低則出現在秋季的 7.5%/日。

另，附著基材以及在養殖池中覆蓋面積

等，也會影響附著藻菌的增長情形。Milstein et al. (2008) 比較不同附著基材之藻菌生長情形發現，附著於較細網目之基材的藻菌乾重及灰分含量是粗網目者的 2 倍以上；進一步探討相同材質僅顏色不同之基材（白色、藍色、黑色）對培養狀況之影響，結果顯示，白色基材之附著藻菌增長情形最佳；又，基材顏色雖然不會影響附著藻菌的葉綠素含量，但確實會影響其藻菌乾重和有機物含量；而與藍色和黑色基材相比，則白色基材上之藻菌乾重及灰分含量分別多了 40% 和 50%。

附著藻菌種類

Wahab et al. (1999) 研究指出，魚池中附著藻菌的物種多樣性豐富，其中藻類部分涵蓋了 5 個族群，包括矽藻科 (Bacillariophyceae) 的 12 個屬、綠藻科 (Chlorophyceae) 的 25 個屬、藍綠藻科 (Cyanophyceae) 的 10 個屬、裸藻科 (Euglenophyceae) 的 4 個屬以及紅藻科 (Rhodophyceae) 的 2 個屬。此外，在放有附著基材的池塘中分別針對有無放養魚隻來進行試驗，結果顯示池塘中的矽藻科平均豐度分別為 41,571 和 45,456 colony-forming units/L；池水中最主要族群的綠藻科平均豐度分別為 91,305 和 101,622 colony-forming units/L，其中以剛毛藻屬 (*Cladophora*) 和毛枝藻屬 (*Stigeoclonium*) 的平均豐度明顯較高；藍綠藻的平均豐度各為 46,938 和 52,948 colony-forming units/L，主要以色球藻屬 (*Chroococcus*) 和顫藻屬 (*Oscillatoria*) 的數

量明顯較高；裸藻科的平均豐度分別為 6,767 和 9,931 colony-forming units/L，紅藻科的平均豐度較低，分別為 5,463 和 6,181 colony-forming units/L。綜合以上數據可以看出有放養魚隻的池塘，菌藻的平均豐度較低，代表魚隻正在消耗利用魚池中的附著藻菌。除此之外，在孟加拉的吳郭魚箱網養殖上的塑料基材同樣也可觀察到，在放養魚隻之前，絲狀的綠藻科和黏菌藻在附著藻菌中佔主導地位；放養魚隻後，矽藻變為主角，因矽藻不只可直接附著在基質上，同時也可以在較大的絲狀藻類上發現 (Huchette et al., 2000)。

一般而言，附著藻菌在基材上附著的方式各有不同，例如藍綠藻和細菌之外層皆具有一黏滑的鞘，主要利用其粘性特質來附著於基材上；部分矽藻依靠所分泌之胞外物質進行附著；有些綠藻則是藉由基部之假根絲細胞組成盤狀固著器固著於基材上。在附著藻菌的生長過程中，隨著生物密度的增加，對基材表面積的競爭越來越激烈，各種藻菌的增長條件呈現急劇變化，因而影響附著藻菌群落組成。為了確保獲取最佳營養和光照條件，像是羽紋矽藻 (pennate diatom) 所分泌的多醣粘液，除讓其順利附著在基材上，也使矽藻細胞可以在基材上滑動，如此一來，它們就可遠離光線不足或養分較少的區域 (Horne and Goldman, 1994)；另外，這可能也是逃脫被沉積物覆蓋，以及尋找最佳生長環境的一種方法。

附著藻菌在養殖之應用

養殖池中附著基材覆蓋面積的多寡是影

響藻菌增長情形的因素之一。當附著基材佔養殖池表面積 40–50% 時，不論其材質為何，均可減少 30–40% 的人工飼料投餵量。基材建議使用白色粗糙紗網，每天每平方公尺可以產生 2 g 藻菌乾重，以每公斤魚體每日飼料投餵 2% 來計算，若其中 1/4 以附著藻菌來替代，約需 2.5 平方公尺的基材面積 (Milstein et al., 2013)。另根據楊等 (2018) 利用附著生物減少吳郭魚池的飼料投餵的研究結果發現，在池中架設池塘表面積約 50% 的白色塑膠編織袋作為附著藻菌滋生附著基材 (圖 1)，試驗分為對照組、有機養殖組及有機池編織袋組，試驗期間各組每日投餵魚體總重 2.5–3% 的飼料，其中，有機池編織袋組因有附著生物增生 (圖 2)，池中天然生產力

增加，因此儘管總投餵量減少 30%，吳郭魚的增重率及成長率與其他各組都無顯著差異；換句話說，以飼料效率而言，有機池編織袋組的投餵量雖然僅為其他組別的 70%，但飼料效率表現卻是最高。

另外，附著藻菌主要利用排放水中的氮源作為其成長營養源，因此在養殖池中同時扮演生物過濾的角色。在有附著藻菌增長的養殖池，每週固定監測池中的溶氧和 pH 值，可發現兩者數值會隨時間拉長而上升，並在 28 天後達到最高點，之後雖然有下降趨勢但仍維持在正常範圍內。養殖池中附著藻菌經過 1 週的培養後，監測養殖池水中所流出的含氮營養物有顯著下降趨勢，6 週以後，養殖池水中的總氮氮去除效率達到 79%，而溶



圖 1 養殖池架設附著藻菌附生的基材



圖 2 附著藻菌在編織袋上增生的情形

解性無機氮 (dissolved inorganic nitrogen, DIN) 去除率達到 44% (Levy et al., 2017)。此外，楊等 (2014) 有機水產養殖模式之建立研究，試驗分為一般操作水泥池組、有機池塑膠紗網組與有機池塑膠編織袋組，結果顯示各組池水中的總氮、氨氮和亞硝酸氮濃度，在養殖期間呈現稍漸增高的趨勢，這些含氮廢物濃度雖在安全範圍內，但以有機塑膠紗網組或有機塑膠編織袋組較低，此結果充分顯示在有機池中架設生物附著基材，除了提升池塘天然生產力之外，更可有效降低有機廢物污染情形。綜上可知，養殖池水中

總氨氮和溶解性無機氮兩者的去除率會隨著附著藻菌生物量的增加而提升，在養殖池中投入生物附著基材讓藻菌附著增長，同時有助於硝化作用的進行，進而穩定池中水質環境，此為附著藻菌發揮吸收含氮廢物之功能，達到淨化水質之目的。

結語

由附著藻菌與魚隻食物供應之間的相關影響顯示，在池塘中提供附著基材，可以減少魚隻對人工飼料的需求，並可以取代草食性、雜食性魚類和對蝦類養殖過程中部分的商業飼料。附著基材的選擇上可以很多元化，基於成本考量，以天然或回收的基材較佳，例如棕櫚葉、竹子、人造材料，廢棄的塑料灌溉管、塑料空瓶或薄膜等回收資源，甚至是廢棄的農業遮陽網、塑料飼料袋和其他類似基材皆有相似的效果。不過，天然材料如棕櫚葉等雖然是一種合適的附著基材，但由於葉子會逐漸腐爛分解，不適合長時間使用。除此之外，考慮到大多數附著藻菌增長期間需要陽光照射以利光合作用之進行，所以基材的架設需接近水體表面，且基材之間應保留足夠的空間讓魚隻游泳攝食，以達到系統最大效能。換言之，調控養殖池食物鏈中的基礎生產力是提高水產養殖生產率和效益的有效方法，附著藻菌在養殖系統中扮演一種簡單、低成本且可持續進行水質生物過濾的角色，既可以淨化水質，又可以作為養殖魚、蝦類的餌料來源，減少飼料的使用量，節省養殖成本支出，進而提升養殖整體收益。