

養殖池之底土中的有機物累積過程及管理

周昱翰 譯

水產試驗所海水繁養殖研究中心

底土有機物來源

池塘沈澱物的來源有飼料殘餌、養殖生物的糞便、死亡的浮游生物、空氣中的碎片、侵蝕的土壤和微生物。由於沈澱作用使有機物質沈積在池底，沈澱物富含營養鹽和有機物。在池底營養物（包括有機碳水化合物）的濃度要比水中高出好幾倍。水下 1 cm 的底土層所含營養物要比 1 m 深的水層高出 10 倍或更多。而營養鹽和有機殘餌累積在池底，若超過池塘沈澱物的負荷能力時，會破壞池塘的生態系統。如此的發展對蝦類特別有影響，因為蝦類大多數時間生活在池底，在土壤中潛伏及攝食。無氧狀況容易發生在集約養蝦池底，養殖的密度愈高池底無氧狀況愈明顯。而無氧狀況會抑制生產量同時也是更高密度養殖的障礙。

底土的微生物及溶氧量

由於有機物的關係使池底成為微生物繁殖的良好地點。細菌消耗了大量的氧氣和沈澱物，使得池底表土以下變成無氧狀態。Ram et al. (1982) 發現在池底土壤的好氣性細菌和厭氣性細菌數量是水中的 2—4 倍。Allen et al. (1995) 指出池底土壤細菌的數量和生產力是水中的 2 倍。在水土交界面的溶氧量是影響氧化還原反應過程和狀態的限制因素之一，沈澱物氧需求量 (SOD) 是礦化作用與底

棲生物群體新陳代謝的指標。SOD 大都在 $0.1 - 0.3 \text{ gO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 之間。養殖成長季節末期 SOD 會達到佔全蝦池氧需求之 50% 以上。由於氧擴散到池底非常緩慢且不足，白天藻類會生產氧氣但大都發生在離水面 10—20 cm 的水層，造成溶氧過高甚至過飽和，而過多的氧會擴散到大氣中。Revsbech et al. (1980) 利用微電極研究砂質海水沈澱物的垂直氧分布，發現氧只出現在沈澱物上方幾 mm 的地方，而且溶氧也難以伸入在集約及半集約魚池的沈澱物下 1 mm 處。當氧耗盡，其他最終的電子接受者可用來作為有機物分解的媒介。因此厭氧反應發生在池底而產生許多還原性產物和潛在有毒物質。

還原性產物和毒性

還原態無機物會影響生物的活動力，像還原態 2 價鐵對魚有毒性，不溶解的 H_2S 對魚蝦更具有強毒性。硫化氫可藉由取代分子氧與血紅素的氧化酵素結合而抑制呼吸作用。硫化氫的毒性和溶氧量有負相關的關係。有機物質的發酵作用會產生許多還原物質如有機酸、酮類、醛類、胺及硫醇。大多數可由其令人不快的味道輕易偵測到，其中只有少數是有毒性的。乙酸對豐年蝦、金魚、藍鰂翻車魚的致死濃度在 $10 - 88 \text{ mg l}^{-1}$ 。丁稀酸及乳酸在 $100 - 200 \text{ mg l}^{-1}$ 對水蚤和魚有毒性。在氧化還原電位 $+200 - 0 \text{ mV}$ 之間的還原態的

沈積物會產生有機硫化物。二硫化碳在 $100 - 300 \text{ mg l}^{-1}$ 對魚類和無脊椎動物有毒性，而在 18 mg l^{-1} 會抑制硝化作用。甲基硫醇對魚和水蚤的致死濃度大約在 1 mg l^{-1} 。

底土的管理

在養殖池內沈澱物累積的分布並不一定，有機沈澱顆粒的密度只稍微比水大，容易受到物理及生物因素的影響。Boyd (1998) 發現養蝦池以水車打水形成環流，可使沈澱物累積及覆蓋在池的中央 30–50% 的區域，而流速低於 $1 - 3 \text{ cm s}^{-1}$ 的區域沈澱物會開始累積。Avnimelech (1995) 發現移除累積的沈澱物可以使半集約式養蝦池的蝦產量由 1 ton/ha/year 增加到 6.2 ton/ha/year ，活存率由 10% 升到 60%。理論、實驗室試驗和田間資料指出池底的狀態對養殖能否成功非常重要，特別是對半集約到超集約養殖而言。一個重要的原則是儘量減少池底被污泥所覆蓋的面積，如果污泥所覆蓋的面積減到最少，那麼還原態沈澱物對池塘生產量的影響也會降低。其實控制污泥在池塘的分布是可行的，因為富含有機物污泥的比重相對較礦物顆粒輕，因此可選擇性的使之重新懸浮。應

用水車擺設的位置及池底地形的適當設計可以將污泥集中到池底的小區域。池底沈澱物的還原狀態可以用化學處理來平衡，例如硝酸鹽的應用，硝酸鹽是一種溫和的氧化劑，即使在低濃度 (5 mg NI^{-1}) 也能改變氧化還原狀態。不像傳統的氧化劑 (氯或過氧化氫)，硝酸鹽不會和懸浮的有機物發生反應，也不會傷害到魚或蝦。硝酸鹽只有在無氧的環境下才會減少。添加硝酸鹽可使池底 15 mm 的表土層氧化還原電位維持在 300 mV 以上。添加硝酸鹽到污泥可以抑制硫和甲烷的形成。添加鐵化合物形成不溶性的硫化礦物可有效控制硫的濃度，另外一個重要和常見用來改善池底狀況的時機，是在養殖收穫後休養期間處理池底沈澱物，利用排出池水及沖洗池底可去除污泥，池水排乾後底土至少要暴露在空氣下 2 星期。Boyd and Pippopinyo (1994) 發現最適底土呼吸的濕度在 12–20%，pH 在 7.5–8.0。翻耕底土也可增加底土的呼吸，而氮肥的施放可加速有機物的分解速率。

附註：

本文摘譯自：Avnimelech Y. and Ritvo G. (2003) Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, 220: 549-567.

