

為水產養殖永續生產之氮移除技術

李佳芳、葉信利

水產試驗所海水繁養殖研究中心

前言

水產養殖為快速成長之糧食產業，尤其海洋漁業產量的減少，更促進了水產養殖業之發展。然而養殖產業密集發展，伴隨而來的即是對環境的影響。在養殖過程中，投餵的飼料經養殖生物利用後所產生之代謝產物與未被消化利用的營養物質，最後都會排放到養殖水體中，導致其富含大量的營養鹽及各種有機物及無機物，不只影響養殖用水水質，排出後更會污染周遭的水體環境。

一般而言，生產 1 kg 魚需要 1–3 kg 的飼料 (乾重)，其中約有 75% 的氮、磷最後都會以廢棄物的形式存在水中，影響養殖用水。魚類的消化系統直接影響到蛋白質利用率，魚腸道長對體長的比值小，所攝食的食物大多未被充分消化利用就排出。以鯉魚為例，其腸道長是體長的 2–2.5 倍，但牛、羊則分別為 20、30 倍長，而人類腸道長對體長也有 3–4 倍，食糜因在魚類的腸道停留時間短，造成蛋白質消化利用差。此外，魚類不像陸生動物以碳水化合物及脂質作為主要能量來源，魚類能量來源主要來自蛋白質，當蛋白質代謝後會產生含氮廢物，排放到水中影響水質。在水中，氨 (NH_3) 及銨 (NH_4^+) 總和稱為總氨氮 (total ammonium nitrogen, TAN)，其化學平衡關係會受到酸鹼值及溫度的影響，氨不帶電荷且脂溶性，容易進入細

胞膜內，因此水中的氨對魚毒性高。除了養殖過程所產生的廢水會對環境及養殖生物造成影響外，在養殖期間所投餵的飼料也是另一個不利永續生產的因素。全球魚粉大約有 1/3 用於水產養殖飼料上，魚粉在水產養殖的供給量自 1988 年 10% 增加到 1997 年 33%。然而未來 20 年，水產養殖產業需增加 5 倍的產量以滿足人類最小蛋白質需求量，大量的魚粉使用也將造成全球魚獲量衰退問題發生。為了水產養殖的永續發展，飼料也須需朝廉價蛋白質來源及高效率營養轉換方向邁進。

氮移除技術

養殖用水含氮廢物移除方式，以廢水處理之區域可分為養殖池外及養殖池內移除兩種方式：

一、養殖池外移除含氮廢物

在養殖池外移除含氮廢物方法包括：(1) 利用土池或蓄水池處理；(2) 固體物移除及硝化作用結合之處理方式。

利用土池或蓄水池處理方式是直接將養殖廢水排放到處理池，經數小時至數天自然的物理、化學、生物處理，改善水質再重複循環利用。利用此方式會受到倒藻及底土厭氧性生物之影響，池中浮游植物及生物相的變動無法預期，但排放水經植物生物處理

後，可改善水中的溶氧、酸鹼值及二氧化碳，而所含的營養物質也可以被植物、貝類或輪蟲等生物利用，產生附加的收成物以增加收益。

一般養殖廢水處理系統可分為物理、化學及生物處理。物理處理方式係利用沉澱作用及機械過濾等方式移除水中固體物。化學處理方式一般會在水中加入添加物，故處理水常會有化學物質存留，若要循環利用者，則需考量殘存化學物質之影響，臭氧處理為其中一種常見的化學處理方式。生物處理是養殖廢水處理最重要的方式之一，主要是利用硝化細菌產生硝化作用改善水質。在養殖系統中，常會使用各種不同基質使細菌附著形成生物膜，以達到去除水中氨氮之效果，但生物膜上的硝化細菌容易受到許多因素影響其硝化作用，如硝化細菌附著基質、溶氧、有機物、溫度、酸鹼值、鹼度、鹽度等。硝化細菌對環境因子相當敏感，當環境含高濃度的氨及亞硝酸、溶氧低及酸鹼值超過最適範圍都會抑制硝化細菌作用。在密集式養殖池之池底及污泥中常會累積硫化物，而硫化物對硝化作用中亞硝酸轉換成硝酸的過程也會有抑制作用。如果水中碳/氮比過高時，異營性細菌會與硝化細菌競爭生長空間及溶氧，抑制硝化細菌的生長，降低硝化作用。

二、養殖池內移除含氮廢物

養殖用水中的氨氮可由藻類光合自營性作用、以自營性細菌將水中氨氮轉換成硝酸氮及異營性細菌利用氨氮轉換成生物量等三種方式去除。在養殖池內可利用附生生物 (periphyton) 及生物膠羽 (bio-flocs) 技術去除水中含氮廢物，此兩種方式並可提供作為

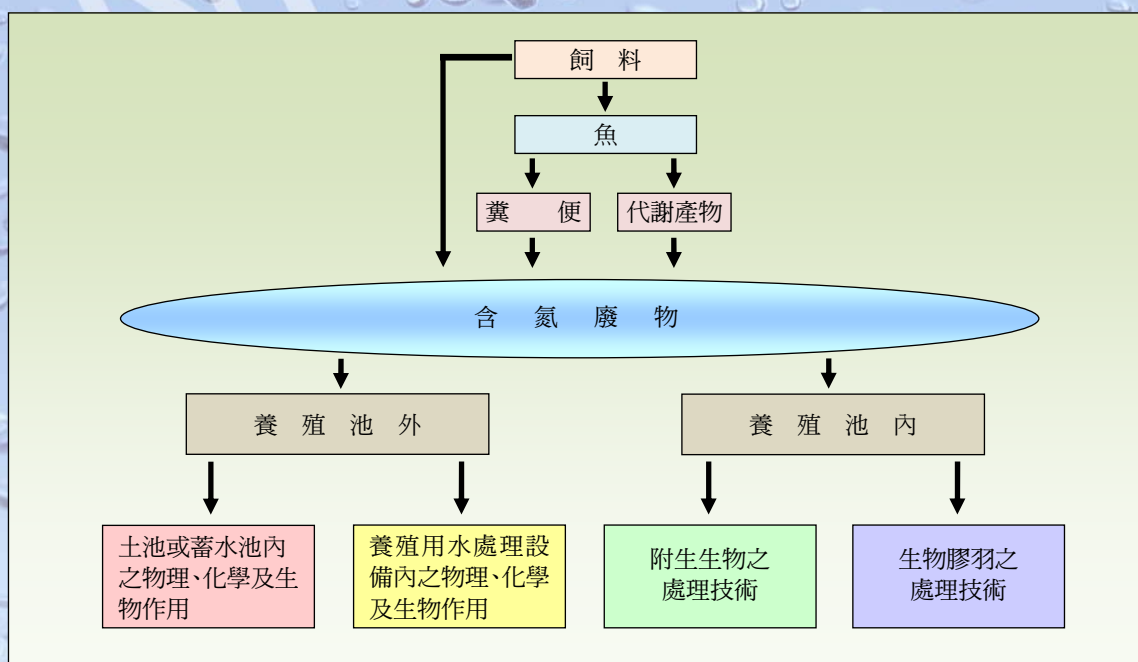
養殖生物食物來源，減少魚油及魚粉的使用。

(一) 附生生物技術

附生生物是由附著在水中物質的生物所組成，附著的生物包括藻類、細菌、真菌、原生動物、浮游動物及其他無脊椎動物。由浮游植物所組成的附生生物可在各種水體中發現，小至池塘大至海洋，從寡營養到優養化的水中皆會存在。附生生物會附著在含有機物的碎石上，經由異營性及自營性生物作用，移除水中的營養鹽，並有助於控制周遭溶氧量及酸鹼值。附生生物每天每立方公尺可產生 4 g 乾重，其中蛋白質約佔 25%，這些顆粒性的食物可提供作為養殖生物蛋白質來源，降低飼料成本，但並非所有魚類都適用，需視魚種對附生生物形態及生理適應情形而論。附生生物每天氮吸收量約 0.2 g/m^2 ，如果要處理密集式養殖廢水，則需較大的表面積促使附生生物生長才能維持良好水質。因此利用附生生物處理水，需考量具有廣大面積並且配合充分光照才能達到良好效果。如果在陰天或陽光不足時，則無法達到氮的最大吸收效率，故適用於粗放式養殖。此外為了形成附生生物，可在養殖池內丟入竹子等基質促進附生生物生長。

(二) 生物膠羽技術

在養殖池中懸浮性生長的浮游植物及細菌，聚集活及死的有機顆粒形成生物膠羽，其中並會有食菌生物存在。生物膠羽技術需在養殖池內添加碳水化合物，促進細菌生長，藉由細菌利用水中的氨氮改善水質，並產生微生物蛋白質。異營性細菌的生長速度比硝化細菌快 10 倍，因此異營性細菌吸收氨氮的速度比硝化細菌快，降低水中氨氮的速



氮在水產養殖之移除方式

度也就比硝化作用還快。生物膠羽中混合各種微生物，當凝聚成多孔性時，適當的水流可將營養物質提供給生物膠羽內的細胞，使得廢棄氮氮可被周遭新生細胞循環利用加速水中氮氮之移除，並降低生物膠羽沉降速率。添加之碳水化合物可經由生物膠羽作用轉換成蛋白質，提供魚類食用，但需考量魚的種類、大小及生物膠羽大小及密度等因素。生物膠羽技術可直接在養殖池內處理水質，不需其他附加的水處理系統，適用於粗放式及密集式養殖，並可利用水中的異營性生物避免病原菌繁生。研究發現，將碳水化合物添加至飼料中飼養蝦，可減少飼料中蛋白質含量並降低水中有害的總氮氮及亞硝酸氮，且生產量並不會受到影響。

結語

養殖廢水處理技術具多樣性，養殖系統設計未來應朝降低投資設備成本及使營運效能發揮達最大的方向發展。生物過濾、附生生物技術及生物膠羽技術都被認為是良好的養殖廢水處理方式，然而利用廢水處理池或養殖系統處理廢水，僅能改善養殖用水水質，但附生生物技術及生物膠羽技術，除了可直接在養殖池內進行水質處理外，並可提供養殖生物食物來源，降低飼料成本，對於水產養殖的永續性發展更有助益。有關生物膠羽技術可更進一步探討生物膠羽之生產管理、營養價值及對養殖生物健康之影響，從微生物的觀點，生物膠羽的微生物族群特性及益生菌存在與否都是未來可研究之範疇。

註：本文取材自 Crab, R., Y. Avnimelech, T. Defoirdt, P. Bossier and W. Verstraete (2007) Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270: 1-14.