

以益生菌改善水產養殖池之水質與底質

黃美瑩¹、高翊峰²¹ 水產試驗所海洋漁業組、² 水產加工組

前言

臺灣適合養殖的土地資源有限，養殖業者為充分利用土地，提高單位面積生產量已是必然趨勢。然而集約式養殖容易因底土堆積有機質過多，微生物分解旺盛，造成底部溶氧不足，而逐漸成為還原態 (Zur, 1981)。在還原態環境下，池底會產生影響養殖生物生長的無機鹽類 (Colt and Armstrong, 1981; Shilo and Rimon, 1982)，如氨氮、亞硝酸氮及硫化物 (Shilo and Rimon, 1982; Ram et al., 1981)，而使水質逐趨惡化，並對養殖生物產生緊迫，導致攝食率下降、成長遲緩 (Rapoport and Sarig, 1975; Ram et al., 1981; Shilo and Rimon, 1982)，更可能因為體弱而易受感染，進而引發養殖生物罹病或死亡 (Nix and Ingols, 1981; Liao et al., 1985)。因此如何減少池底有機質、增加溶氧及降低無機鹽類濃度，以有效改善養殖環境並預防大規模死亡，已成為目前水產養殖的重要課題之一。本報告綜合相關文獻，探討養殖池底質淤泥來源、組成及如何利用益生菌改善水質與底質，期望以更科學及有效的方法改善養殖環境，減少養殖生物病害之發生，以提升養殖成效。

養殖池底質淤泥來源及組成

養殖池水質惡化的主因在於池底淤泥的累積，底質淤泥主要由飼料殘餌、養殖生物排泄物以及藻類和浮游生物的屍體等沉積而形成 (白等, 2017)。飼料的組成為蛋白質、脂質、碳水化合物等營養源，且以蛋白質為主 (飼料業原物料耗用通常水準, 2013；吳, 2011)，研究顯示，飼料中所含的氮被養殖生物 (如魚蝦) 完全吸收的不到 3 成，其餘皆以糞尿型態排至水中，其中少數經由養殖池換水排出，大部分會沉積在池底的淤泥中，且隨著養殖過程不斷累積 (白等, 2017)。糞便主要成分為含碳及氮化合物，藻類組成主要是碳水化合物與纖維素 (Song et al., 2015)。Naylor et al. (1999) 分析加拿大商業養殖虹鱒 (*Oncorhynchus mykiss*) 之糞便的化學組成，結果顯示，糞便的乾重中平均有 2.83% 的氮及 2.54% 的磷 (表 1)，該報告指出，魚的糞便組成與陸上動物類似 (表 2)，適合當農業用肥料。商業虹鱒飼料的組成含 7.19% 的水、7.19% 的氮及 1.15% 的磷。Moccia et al. (2007) 分析加拿大安大略省 (Ontario) 養殖的虹鱒糞便之組成，結果顯示，糞便乾重中 41.43% 的總碳 (包括 40.85% 的有機碳和

0.58% 之無機碳)、3.97% 的氮和 2.87% 的磷；而飼料乾重中，有 49.21% 的總碳(49.17% 的有機碳和 0.04% 之無機碳)及 5.26% 的氮和 1.08% 的磷。飼料成分分析顯示，粗蛋白為 41.0–45.0%，粗脂肪為 22.0–24%，粗纖維為 1.5–4.0%。

Yokoyama et al. (2010) 使用穩定碳及氮放射線標示方式，進行殘餌及魚的糞便定量，分析日本中部 Gokasho Bay 嘉鱈 (*Pagrus major*) 養殖場的殘餌及魚的糞便，結果發現，29% 之有機物來自殘餌，12% 來自糞便，推測原因是投餵過多飼料所致。Saba and Steinberg (2012) 報導，野生鰆魚 (*Engraulis japonicus*) 的糞便中，含 21.7 $\mu\text{g}/\text{pellet}$ 的顆粒有機碳 (particulate organic carbon, POC)，和 2.7 $\mu\text{g}/\text{pellet}$ 的顆粒有機氮 (particulate

organic nitrogen, PON)，而飼料之乾重為 314 $\mu\text{g}/\text{pellet}$ ，推估顆粒有機碳約佔 6.91% 之重量，顆粒有機氮則佔 0.86% 之重量。Wang et al. (2013) 研究挪威箱網養殖的大西洋鮭魚 (*Salmo salar*) 所排出廢物的化學組成，發現飼料中大約有 62% 的碳、57% 的氮，76% 的磷排入環境中，其中有 40% 的碳被轉為二氧化碳，39% 的氮及 24% 的磷成為溶解性無機氮及無機磷；另，大約有 19% 的碳、15% 的氮、44% 的磷以顆粒狀被排出。飼料中平均含有 54% 的碳、5.8% 的氮、0.88% 的磷及 38.5% 的脂肪。而排出的糞便中，碳含量為 36%、氮含量 2.7%、磷含量 2.3% 及脂肪含量 7.4%。糞便中的碳含量隨魚之體重增加而增加，碳有 70%、氮有 50% 來自飼料。討論中提到，大部分的殘餘飼料及糞便都沉

表 1 魚的糞便組成 (%)

	氮	磷	碳	脂質
虹鱈 (Mudrak, 1981)	1.41-4.85	1.79-2.99	-	-
虹鱈 (Willet and Jakobsen, 1986)	3.30	1.03	25.00	-
虹鱈 (Olson, 1992)	3.15-5.49	1.34-3.51	-	-
大西洋鮭魚 (Bergheim et al., 1993)	4.80	2.22	-	-
虹鱈 (Westerman et al., 1993)	2.95-16.11	0.88-6.60	11.20-48.50	-
虹鱈 (Axler et al., 1997)	2.44-3.60	0.94-3.80	19.0-44.5	-
虹鱈 (Naylor et al., 1999)	2.83	2.54	-	-
虹鱈 (Moccia, 2007)	3.97	2.87	41.43	-
大西洋鮭魚 (Wang et al., 2013)	2.70	2.30	36.0	7.40

資料來源：Naylor et al., 1999; Moccia, 2007; Wang et al., 2013

表 2 魚隻與陸上動物的糞便組成之比較 (%)

	魚	肉牛	乳牛	家禽	豬
氮	1.41-16.11	1.90-7.80	0.15-10.10	1.3-14.5	0.60-10.00
磷	0.88-6.60	0.41-2.60	0.03-2.50	0.15-4.00	0.45-6.50

資料來源：Naylor et al. (1999)



入池底，因此建議可以將海參或貝類等濾食性動物與鮭魚共養，以利用殘餌及糞便。綜合上述及相關研究報告顯示，魚的糞便中含有 11.20–48.50% 的碳、1.41–16.11% 的氮及 0.88–6.60% 的磷（表 1）。

益生菌在水產養殖上的應用

益生菌在水產養殖上的應用非常廣泛，目前常用於水產養殖的益生菌，主要功能包括：改善水質、增加營養及改進飼料消化性、提升生物免疫能力、與病原菌競爭進而排斥病原菌、拮抗病原菌及抵抗病毒等。因此在水產養殖上使用益生菌可以改善養殖環境、增進水產生物成長、降低養殖生物疾病之發生、增加抗病能力、減少抗生素的濫用及減低死亡率（Anthony and Philip, 2008; Martinez-Cruz et al., 2013）。水產養殖上所使用益生菌的範圍較陸上動物為廣，而應用的益生菌主要種類為乳酸菌、芽孢桿菌、光合菌、硝化菌及酵母菌等（Nayak, 2010; Nimrat et al., 2012; Valdes et al., 2013）。

以益生菌改善養殖環境

一、以益生菌改善水質

在益生菌改善水質方面，林（1998）報導，使用光合菌 *Rhodobacter capsulatus* L1 來處理飼養錦鯉 (*Cyprinus carpio*) 的廢水，能提高廢水中 pH 及降低化學需氧量、氨氮與亞硝酸氮的含量。陳（1999）指出，利用 5 種不同之細菌 (*Bacillus cereus*、*B. megaterium*、*B. subtilis*、*Lactobacillus*

acidophilus 和 *Saccharomyces cerevisiae*) 製成微生物添加劑，對於養殖用水中硝酸氮及亞硝酸氮的去除能力極佳。游（2003）報導，在白蝦 (*Litopenaeus vannamei*) 養殖池中添加光合菌 (*Rhodobacter sphaerooides*) 與白菌 (*Aureobacterium terregens*)，可降低水中氨氮與亞硝酸氮的濃度，而且能夠抑制弧菌生長；而添加綜合益生菌包含：*Bacillus* sp.、*Nitrosomonas* sp. 及 *Nitribacter* sp. 能保持草蝦 (*Penaeus monodon*) 養殖池最佳透明度和降低有機碳。

張等（2004）指出，將複合菌（假單胞菌、枯草桿菌及硝化菌）加入白蝦池中，添加量為 5.3×10^{10} CFU/hm²，每週添加一次，共進行 62 天；結果顯示，該複合菌能有效降低池水中的氨氮、亞硝酸氮、化學需氧量及生化需氧量，且白蝦產量明顯較對照組增加。孟等（2009）報導，分別將 *B. subtilius*、*B. licheniformis* 及硝化細菌加入養殖吳郭魚 (*Oreochromis* sp.) 之廢水，進行處理 9 天 (25°C)，添加量為 2.0×10^7 CFU/ml；結果顯示，*B. subtilius* 及 *B. licheniformis* 能有效降低廢水中的亞硝酸氮及化學需氧量，但對於氨氮不具降解功能；而硝化細菌能有效降低氨氮含量，但對於化學需氧量沒有降解功能。朱（2011）報導，分別將 *B. subtilius*、*Lactobacillus casei*、沼澤紅假單胞菌及啤酒酵母等之複合菌加入養殖鯽魚 (*Carassius auratus*) 廢水中處理 12 天 (20–25°C)，結果顯示，第 3 天開始，廢水中的氨氮及硫化氫即明顯降低。

Nimrat et al. (2012) 報導，自草蝦腸道分離的多種 *Bacillus* sp. 均具有分解蛋白質、脂

質及澱粉能力，且可抑制病原菌－哈維氏菌 (*Vibrio harveyi*)，有助於減少草蝦腸道 *V. harveyi* 的數量並提升草蝦成長。將該類益生菌應用於白蝦，分別添加益生菌 A (包含 *B. thuringiensis*、*B. megaterium*、*B. polymyxa*、*B. licheniformis* 及 *B. subtilius*) 及益生菌 B (包含 *B. subtilius*、*B. polymyxa*、*B. megaterium*、*B. circulans* 及 *B. pumilus*) 於白蝦養殖池，結果顯示，益生菌 B 有助於白蝦成長，最終體重明顯高於對照組 ($p < 0.05$)，水中及白蝦腸道中 *Bacillus* sp. 之數量明顯高於對照組 ($p < 0.05$)，腸道中 *Bacillus* sp. 佔 61–93%。水質方面，加益生菌的試驗組之酸鹼值、氨氮及亞硝酸氮濃度均明顯較對照組低 ($p < 0.05$)。*Bacillus* sp. 能在蝦腸道中增殖，促進白蝦成長。作者認為，*Bacillus* sp. 能利用多種營養，分泌消化酵素及成長因子，預防腸道異常及提高成長率及活存率。又，*Bacillus* sp. 在腸道中可與病原菌競爭營養與棲地，排除病原菌，成為腸道菌相之一。此外，*Bacillus* sp. 可以礦物化含氮廢物 (硝化及去硝化)，減少氨氮及亞硝酸氮濃度。

Valdes et al. (2013) 報導，以日本商用益生菌 EM™ 菌 (包括光合菌、兩種乳酸菌及酵母菌) 應用於白蝦池，實驗分為對照組及 EM1 (4 L/ha)、EM2 (10 L/ha) 等三組，後二組每 5 週添加 EM 菌一次，共進行 120 天，結果顯示，益生菌能縮短白蝦收獲期並改善水質，包括降低水中硝酸氮含量及增加有機物之去除率，且白蝦成長狀況也較對照組佳。Sunitha and Padmavathi (2013) 指出，於淡水魚池中每月添加 *Nitrosomonas* sp. (1.62 kg/ha) 及 *Nitrobactor* sp. (0.82 kg/ha)，共養殖

332 天，結果顯示，試驗組水中之氨氮、亞硝酸氮及磷的濃度皆低於對照組，假單胞菌量也下降，而總生菌數、總浮游動物量及魚的淨產量則增加。作者認為，益生菌也會利用磷，而異營益生菌則會利用含氮物質放出氨氮，再由硝化菌轉變為硝酸。此外，益生菌也可促進浮游動物生長。Mohamed et al. (2013) 報導，於海水吳郭魚 (*Oreochromis mossambicus*) 的養殖水中添加益生菌 BZT® BIO-AQUA (包含 *B. subtilis*、*B. licheniformis*、*B. megaterium*、*B. polymyxa*、*Nitrosomonas* spp.、*Lactobacillus* spp. 及 *S. cerevisiae* 等)，添加劑量分別為 0.02 g/m³、0.04 g/m³、0.06 g/m³，為期 30 天，結果顯示，益生菌組吳郭魚之平均體重高於對照組，且水中之氨氮、亞硝酸氮及磷的濃度均較對照組低。

Martínez-Cruz et al. (2013) 報導，使用 Aqua BOOSTER® 於細鱗肥脂鯉 (*Piaractus mesopotamicus*) 養殖池，共進行 109 天，結果顯示，試驗結束時，試驗組魚的體重明顯增加，試驗組水質較佳，結論為使用該益生菌產品有效增加魚的成長並改善水質。Gaddipati et al. (2015) 在水中加入氯化銨 (1.75 ppm)、亞硝酸鈣 (0.05 ppm) 及硝酸鈣 (0.5 ppm)，然後以 4–5 mg/50 L 商業益生菌 Ecotech Ecotech (含有 *B. subtilis*、*B. licheniformis*、*B. megatherium*、*B. polymyxa*、*B. pumilus*、*Lactobacillus plantarum*、*Pediococcus acidilacti*、*Paracoccus denitrificans*、*Cellulomonas cartae*、*Paracoccus pantotrophus*、*Thiobacillus* sp.、*S. cerevisiae*、*Nitrosomonas* sp.、*Nitrobacter* sp.、*Rhodococcus* sp.、*Rhodobacter* sp. 及



Aspergillus niger 等多種益生菌)，處理 12 小時後發現，試驗組之氨氮、亞硝酸氮及硝酸氮的濃度皆低於對照組，且具抑制弧菌的作用。Sunitha and Krishna (2016) 指出，使用 Aqua gut 和 Nitro-PS + Micro-Pro 等兩種益生菌產品在卡特拉鯧 (*Catla catla*) 及草魚 (*Ctenopharyngodon idella*) 的養殖上，11 個月後之結果顯示，試驗組池水中硝化菌增加，病原菌 (*Pseudomonas* sp.) 減少，且氨氮明顯較對照組低。Kumar et al. (2016) 報導，印度白蝦養殖池加入益生菌 Pro-W (主要為 *Bacillus* spp.) 120 天，結果顯示，水中氨氮濃度明顯降低。作者認為 *Bacillus* spp. 具有改善水質，減少弧菌量，增加白蝦活存率及成長率等功效。

二、以益生菌改善養殖池底質

Boyd and Gross (1998) 報導，應用益生菌於養殖池，可以改善水質及底質。益生菌分泌之胞外酵素可將大分子分解為小分子，這些小分子進入益生菌細胞內再被其他酵素分解，若沒有益生菌存在，則無法加速有機物之分解。Moriarty et al. (2005) 指出，益生菌可以改善養殖池之水質及底質，降低水產生物之壓力，提升水產生物之健康。*Bacillus* sp. 可以產生多種胞外酵素，可以有效分解大分子，像蛋白質及脂質，而具有去硝化作用 (dinitrification) 者，在氧氣量很少時，可以分解有機廢物，利用硝酸達到淨化池底之功能。王等 (2006) 指出，將複合菌 (芽孢桿菌、光合菌及酵母菌等多種益生菌) 加入白蝦池中，進行 117 天之試驗，結果顯示複合菌能有效降低池中底泥的總氮、總磷、硫化物及總有機碳之含量。又，底泥中弧菌量明

顯較對照組低，而芽孢桿菌量則明顯較對照組高。Wang and He (2009) 指出，應用複合菌 (*Bacillus* sp.、*Nitrosomonas* sp.、*Nitrobacter* sp. 及 *Lactobacillus* sp.) 於白蝦池中，添加量為 10^8 CFU/dm³，120 天後的結果顯示，該複合菌能有效降低池中底泥的總氮、總磷及總有機碳之含量。Zhou et al. (2009) 指出，添加產孢子的乳酸菌 *Bacillus coagulans* 於白蝦池中，添加量為 $1.0 \times 10^5 - 1.0 \times 10^6$ CFU/ml，結果顯示試驗組蝦隻消化道中，澱粉酶、蛋白酶及脂質酶等消化酵素活性均明顯較對照組高，原因可能是益生菌刺激腸道分泌較多消化酵素，或者益生菌本身就可分泌多種消化酵素，該類消化酵素亦有助於分解養殖池底的有機物質，強化改善底質。

結語

集約式養殖很容易因為池底淤泥累積造成環境惡化。底質淤泥主要由殘餌、養殖生物排泄物、藻類和浮游生物屍體等沈積而形成，飼料的組成以蛋白質、脂質、碳水化合物等營養源為主，例如：虹鱒飼料乾重中有 41.0 – 45.0% 粗蛋白及 22.0 – 24.0% 粗脂肪。魚的糞便乾重中有 11.20 – 48.50% 的碳、1.41 – 16.11% 的氮及 0.88 – 6.60% 的磷。應用光合菌、硝化菌、芽孢桿菌、乳酸菌及酵母菌等益生菌，可以降低養殖池水及底泥中氨氮、亞硝酸氮、化學需氧量、生化需氧量、總有機碳與硫化氫等的含量。此外，有些益生菌還具有抑制病原菌之功效，可以減少養殖生物腸道中病原菌的數量，並提升生物成長。