

文蛤養殖過程的底土管理

周昱翰、葉信利

水產試驗所海水繁養殖研究中心

前言

文蛤養殖包括曬池、添加基肥及養成等過程。養殖池收成後，先將池水排乾，使底土曝露在空氣中乾燥及氧化（圖 1），再以推土機整平池底後添加基肥，每公頃施撒茶粕及豆粉 500–1,500 kg 左右作為底肥，同時兼具毒殺池中螺類與雜魚蝦之作用。利用曳引機施撒後，再注入海水讓茶粕與豆粉發酵（圖 2），俟發酵後之肥水滲入池底後再度排乾池水，待池底乾燥龜裂後，再以耕耘機翻鬆表層土繼續曝曬，然後注水準備放苗。但這些只是憑經驗的作法沒有經過量化去計算乾燥的效果及池底曝露在空氣中所需的時間。

另外在文蛤養殖期間大都憑經驗以目測水色來投飼，容易因為超量投餌導致池底有機物堆積，底層因缺氧而形成還原態。在養殖過程中，池底狀況對文蛤非常重要，因為它們棲息在底土，底質惡化會影響文蛤成長或生存。池底狀態會隨時間而改變，也會被有機殘留物如死亡藻類、糞便和殘餌等的累



圖 1 整池及曬池



圖 2 基肥發酵狀態

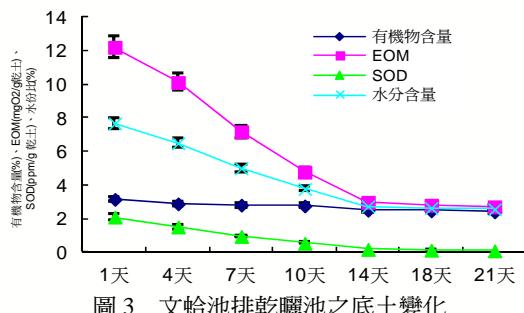
積所影響，導致高耗氧及發展成還原態。在此環境下，厭氧分解的產物如氨、硫化氫、甲烷及有機酸，都會危害養殖生物，尤其是與底土相依的底棲生物如蝦、蟹及貝類等受到的影響最為直接，因此如何有效監測底質來控制投餌量，減少有機物的累積及避免產生還原產物是非常重要的。

曬池過程中的底土變化

將 3 個文蛤池 (8×4 m) 排乾池水後，曝曬 21 天，期間定期測量其底土的水分與有機物含量以及底土易氧化物 (easily oxidized material, EOM) 和底土需氧量 (sediment oxygen demand, SOD)。

結果如圖 3 所示，底土的水分含量剛開始為 7.69%，經 14 天的曝曬後，下降到 2.75%，再緩慢降到 2.57%；EOM 濃度由 12.22 mgO₂/g 乾土重，降至 2.99 mgO₂/g 乾土重，之後趨於平緩；SOD 值由一開始的 2.11 mgO₂/g 乾土重減少為 0.19 mgO₂/g 乾土重，

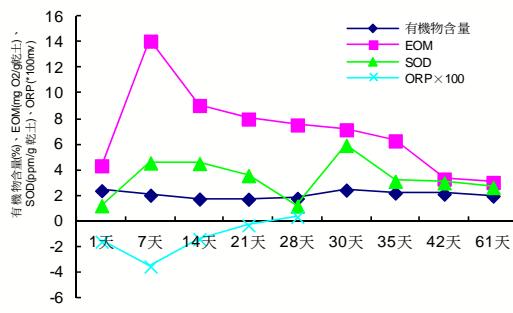
下降趨勢與 EOM 類似；有機物含量則由 3.16% 降到 2.42%。由圖 3 可看出水分含量、EOM 及 SOD 在曬池 14 天後急速下降，顯示池底曝露在空氣中至少需要 14 天，才能確保池塘底土的改善效果。



添加基肥後之底土變化

在 3 個文蛤池進水 30 cm 深，每池加入茶粕 5 kg 發酵，定期測量底土氧化還原電位 (oxidation reduction potential, ORP) 變化、有機物含量、EOM 及 SOD。28 天後，將池水排乾，底土採樣 4 次，測量其有機物含量、EOM 及 SOD。

三個試驗池添加茶粕後，水色由一開始的透明色，第 7 天時轉為紅棕色，21 天後池水又變回透明，但池底出現紅棕色的沉澱。底土的 ORP、有機物含量、EOM 及 SOD 等之變化如圖 4 所示。底土氧化還原電位由 -158 mV 逐漸降低，第 7 天時為 -352 mV，而後又逐漸升高到第 28 天的 37 mV。EOM 及 SOD 的變化也相當雷同。由上述可知，茶粕的發酵作用在第 7 天時達到最高點，而在 28 天時發酵完成。第 28 天採樣後將池水排乾進行曬池，底土之 EOM 及 SOD 分析結果如前述試驗 (圖 4)，即池底至少要曝曬 14 天以上，才能達改善之效。



文蛤養殖期間

文蛤的放養密度通常為 150–200 萬粒/公頃，在高密度養殖環境下，池中自然生產的藻類及有機碎屑並不足以供給文蛤所需，必須另外投入大量飼料。隨著養殖期間的進展，有機物的累積量日益增加，底土會逐漸發展成還原態，導致缺氧及產生危害文蛤的有毒物質，因此底土管理的妥善與否，是養殖成敗的關鍵。

一、底土狀態之評估

底土狀態可透過 ORP、可溶性氨-氮、硫濃度及有機物含量等加以評估，但只有 ORP 能直接在養殖現場測量，並立即加以處理。ORP 是底質有機物質負載程度的指標，其變化反應了底土中有機物含量。當有機物增加時，會因微生物的分解造成底土溶氧量減少而使 ORP 下降；而當有機物減少時，耗氧量下降，ORP 則會逐漸上升，因此可作為養殖池底土有機物質污染的指標。

(一) 氧化還原電位的測量

1. 測定的儀器組合

pH/ORP meter 本體 (具有測量 ORP 項目的任何品牌皆可) 加上測量 ORP 用的白金電極 (圖 5)，使用前應先用 ORP 標準液確認

ORP 電極是否老化，並以其作為測量基準（例如 ORP 標準液為 220 mV，而儀器測量值為 250 mV，顯示儀器測量的值高估 30 mV，因此在池塘所測的值需減 30 mV，才是池塘真正的 ORP 值）。

使用後需將 ORP 氧化還原電極放入裝有飽和 KCl 溶液的保存瓶中，以保持電極活性，並減緩其老化速度。



圖 5 pH/ORP meter 本體及測量 ORP 用的白金電極

2. 測定的方法

將白金電極直接插入養殖池底土 2–3 cm 處，經 30–60 秒，數值穩定後即完成測定（圖 6）。因為池底土表並非平坦，有機物易累積在較深的凹面底土，因此可以將池塘分成 6–9 個區域，每個區域測量 3–5 點求得測量平均值，以充分瞭解各區的底土狀態，然後據以進行養殖管理操作。



圖 6 ORP 數值可直接在養殖池測得

(二) ORP 數值的意義

當池中溶氧耗盡，會產生許多厭氧反應，而在池底形成還原性產物和潛在有毒物

質。ORP 在 200–300 mV 之間時， NO_3^- 會還原成 NO_2^- 、 Mn^{+4} 還原為 Mn^{+2} ；在 100–200 mV 之間時， NO_2^- 還原為 NH_4^+ ；在 50 mV 時， Fe^{+3} 還原為 Fe^{+2} ；在 -150–-250 mV 之間時， SO_4^{2-} 還原為 S^{2-} (H_2S)；而在 -250 mV 時， CO_2 則還原為 CH_4 （表 1）。由上述可發現，ORP 在 -150 mV 以下時，會產生還原性的有毒物質。

表 1 氧化還原電位 (ORP) 數值與氧化還原狀態及氧化還原反應的關係

氧化還原狀態	ORP (mV)	氧化還原反應
氧化態	400-700	$\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
低還原態	100-400	$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$
		$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ (100–200 mV)
還原態	100- -100	$\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$
高還原態	-100- -300	$\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$ (-150–250 mV)
		$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ (< -250 mV)

二、ORP 如何應用在文蛤養殖的底土管理

ORP 值高低對文蛤活存有何影響？如何應用 ORP 值進行文蛤池的底土管理？ORP 在 -150 mV 以下會產生還原性的有毒物質，底土管理依其 ORP 值可分成三個階段：

(一) 正常養殖期 (底土 ORP 值在 -150 mV 以上) 的管理

避免過多的殘餌，以免有機物累積於池底而使 ORP 下降，因此投餵的飼料須注意：

1. 適當的粒徑

適合文蛤攝食的食物顆粒粒徑為 5–25 μm ，過大或過小的飼料顆粒均無法被文蛤攝食，而累積於池底。

2. 適量的投餵

飼料的投餵量，應視養殖物的狀況而增

減，避免殘餌過多，使得底層因缺氧而形成還原態。在此種環境下，厭氧分解的產物如氨、硫化氫、甲烷及有機酸，都會對養殖生物造成危害，尤其與底土相依的底棲生物如蝦、蟹及貝類，所受的影響最為直接。

(二) 底土改善期 (底土 ORP 值在 -150—-250 mV) 的管理

改善底土 ORP 值到 -150 mV 以上，以避免產生對文蛤有影響的還原性有毒物質 (H_2S 及 CH_4)。

1. 增加池水溶氧量

增加水車數量或運轉時間，使水與空氣充分接觸，溶入氧氣，提供微生物分解有機物所需的氧氣，並使水中氨、二氧化碳等有害氣體逸出水面。

2. 每週定期使用二氧化氯 (0.5 ppm) 或光合菌 (15 ppm)

可以提高底土的 ORP，並減少底土的易氧化物質及底土需氧量，使文蛤在優良的底土環境下成長，不但可提升文蛤的成長率也增加文蛤的飼料效率 (表 2)。

(三) 危險期 (底土 ORP 值在 -250 mV 以下) 的管理

氧化還原電位在 -250 mV 以下時， CO_2 還原為 CH_4 ，顯示底土被有機物嚴重污染，

處於極度缺氧狀態，應立即進行緊急搶救措施，才能避免文蛤大量死亡。

三、底土的緊急改善對策

有機物在池土的濃度通常為 2—4%，以 10 cm 厚的底土層來計算，每公頃的有機物含量約 20—40 噸。在這麼高含量的背景值下，要確認因為養殖而造成的有機物增加量是非常困難的。而 EOM 是指底土中易氧化物質的計量指標，數值愈高顯示底土中的易氧化物質愈多。EOM 的測定有助於更適當的池塘管理 (Avnimelech et al., 2004)。因此經由 ORP 及 EOM 的測定，可以顯示底土的有機物污染狀態。

將室內 15 個試驗桶 (70—50 cm，底部裝有 10 cm 的砂土) 排乾水後進行底土曬乾作業，第 15 天進行第 1 次底土分析，土壤濕度在 13.82—15.16%，EOM 濃度 3.28—4.15 mgO₂/g 乾土重。第 30 天進行第 2 次底土分析，土壤濕度在 11.20—12.32%，EOM 濃度 2.58—2.84 mgO₂/g 乾土重。在 15 個試驗桶中引進海水及微打氣，7 天後測量底土 ORP 在 +218—+231 mV、EOM 濃度 1.60—2.37 mgO₂/g 乾土重，本次試驗要到 30 天才會有改善底土的效果，可能是試驗桶位於室內，缺乏陽光照射而拉長時間。

表 2 文蛤飼養 18 週後各處理組文蛤之飼育成果與底土狀態

處理方式	對照組	光合菌組	二氧化氯組
最初重量 (g)	1.05±0.25	1.05±0.25	1.05±0.25
最後重量 (g)	8.03±0.62 ^c	8.72±0.38 ^b	10.09±0.87 ^a
底土有機物含量 (%)	2.78±0.30	2.73±0.58	2.75±0.16
底土 EOM (mgO ₂ /g 乾土重)	11.34±3.10 ^a	8.82±2.50 ^b	7.68±2.10 ^b
底土 SOD (mgO ₂ /g 乾土重)	8.47±0.82 ^a	4.43±0.52 ^b	3.88±0.72 ^b
ORP (mV)	26.0±7.8 ^c	53.0±6.2 ^b	102.5±11.2 ^a
飼料效率 (%)	267.4±28.0 ^c	294.4±36.0 ^b	345.3±15.0 ^a

a, b, c：代表 $p < 0.05$ 之統計差異

再將15個試驗桶各加入20 g的鰻粉(約618 kg/公頃),7天後ORP由+218—+231 mV變為-290—-386 mV、EOM濃度3.25—4.62 mgO₂/g乾土重。

底土改善的處理分為：運用打氣增氧、添加二氯化氯及底土曝露。經試驗的結果發現：

(一) 運用打氣增氧

3個試驗桶連續打氣24小時，平均ORP由-325 mV上升到-215 mV，EOM由4.24 mgO₂/g乾土重降至4.03 mgO₂/g乾土重，48小時平均ORP為-156 mV，EOM降至3.88 mgO₂/g乾土重，10天後平均ORP變為+55 mV，EOM降至2.86 mgO₂/g乾土重，顯示連續打氣可以逐漸改善池底還原狀態。

(二) 添加二氯化氯

試驗桶添加二氯化氯1 ppm、8 ppm及16 ppm，每個處理3重覆，在添加後24小時及10天後，3組的平均ORP並未改善仍在-325 mV—-388 mV之間，EOM在3.75—4.74 mgO₂/g乾土重。可能是底土有機物的量超過二氯化氯所能氧化的量，因此即使添加16 ppm的二氯化氯，底土的ORP也未獲改善，必須進一步的試驗，以瞭解二氯化氯對有機

物的氧化能力。

(三) 底土曝露

將3個試驗桶排乾池水使底土曝露在空氣12小時後，加水回復到原來的高度，結果平均ORP由原來的-352 mV變為-153 mV，EOM降至3.82 mgO₂/g乾土重，48小時後平均ORP為-36 mV、EOM降至3.14 mgO₂/g乾土重，10天後平均ORP為+83 mV、EOM降至2.78 mgO₂/g乾土重，顯示底土曝露在空氣後，可獲得立即的改善效果(表3)。試驗結果發現，打氣增氧及底土曝露的方式，顯著增加底土的ORP及減少底土的EOM，達到快速改善池塘底土環境的成效。

四、底土曝露對文蛤的影響

為了瞭解底土曝露是否對文蛤有所影響，利用6個已養殖12個月的室外文蛤試驗池(4×8 m)進行試驗，分為底土曝露4小時、8小時與12小時3個處理組，每組2重覆。各組排水前，平均ORP分別為-121.4 mV、-113.2 mV、-136.2 mV；平均EOM分別為3.56 mgO₂/g乾土重、3.48 mgO₂/g乾土重與3.64 mgO₂/g乾土重。底土曝露期間由9:30—21:30之間，因有日照，所以底土溫度為28—42°C，試驗完成後試驗池重新進水，

表3 試驗桶(70×50 cm)添加20 g鰻粉(約600 kg/公頃)比較3種方法對底土ORP及EOM的改善的效果

處理方式	對照組	打氣增氧 (連續打氣)	二氧化氯 (16 ppm)	底土曝露 (8小時)
最初ORP(mV)	-330±35	-325±36	-336±25	-352±38
24小時ORP	-338±22 ^c	-215±62 ^b	-348±42 ^c	-153±26 ^a
48小時ORP	-334±32 ^c	-156±22 ^b	-338±52 ^c	-36±8 ^a
10天ORP	-337±47b	+55±12 ^a	-327±37 ^b	+83±21 ^a
最初EOM(mgO ₂ /g乾土重)	4.48±0.37	4.24±0.44	4.54±0.37	4.62±0.42
24小時EOM	4.41±0.41 ^c	4.03±0.38 ^b	4.52±0.41 ^c	3.82±0.26 ^a
48小時EOM	4.40±0.49 ^c	3.88±0.41 ^b	4.39±0.49 ^c	3.14±0.38 ^a
10天EOM	4.38±0.45 ^b	2.86±0.32 ^a	4.28±0.45 ^b	2.78±0.28 ^a

a, b, c：代表p<0.05之統計差異

24 小時後各組之平均 ORP 分別為 7.2 mV、9.6 mV 與 7.4 mV，平均 EOM 分別為 2.86 mgO₂/g 乾土重、2.71 mgO₂/g 乾土重與 2.83 mgO₂/g 乾土重。觀察試驗池文蛤在底土曝露 4–12 小時後，在第 7 天時的死亡率，結果只有底土曝露 12 小時處理組有 0.094% (3 粒/3200 粒) 的死亡率，第 14 天的死亡率為 0.250% (8 粒/3200 粒)，其他兩組則沒有文蛤死亡 (表 4)。可見底土曝露 8 小時內對文蛤沒有影響。不過試驗所用的文蛤池底土狀態並沒有惡化到需要立即改善的地步 (ORP 在 -250 mV 以下)，因此試驗池文蛤的健康狀態可能比處於惡劣底質的文蛤好，所以要依據實際狀況增減底土曝露的時間。由曬池試驗發現，底土 EOM 及 SOD 都是在 14 天期間急速下降，顯示乾燥的效果及池底曝露在空氣中至少需要 14 天，才能確保池塘底土的改善效果。而 Avnimelech 等 (2004) 也發現，吳郭魚池的底土至少需要曝露在空氣中 10 天，其 EOM 及硫化物才會降到最低。而本試驗發現，短期間的底土曝露也有助於減少底土的 EOM，而且 3 個處理組間 (曝露 4、8 及 12 小時) 在提升 ORP 及減少底土 EOM 的效果方面並沒有顯著差異 ($p > 0.05$)。換言之，底土曝露在空氣中 4 小時後即可有效提

升底土 ORP 及降低 EOM，達到改善底質的目的，對文蛤也沒有不良的影響。

結論

根據試驗池底土之水分含量、EOM 及 SOD 的數據顯示，池底至少需要曝露在空氣 14 天以上，才能確保池塘底土的改善效果。文蛤池添加茶粕作為基肥，由底土 ORP、EOM 及 SOD 的數據顯示，發酵作用在第 7 天時達到最高點，而在 28 天時發酵完成。發酵完成後將池水排乾進行曬曬，同樣也顯示顯示，至少需要 14 天以上，其 EOM 與 SOD 數值才會下降。因此文蛤池添加基肥發酵完成後，至少需要曬池 14 天才能進行文蛤苗放養作業，避免因底土惡化而造成文蛤苗成長停滯或死亡。此外，文蛤養殖期間，每週定期使用二氧化氯或光合菌，可顯著增加底土的 ORP，減少底土的 SOD 及 EOM，達到改善池塘底土環境，提升文蛤成長及肥滿度之效。當文蛤池底土惡化時 (底土 ORP < -250 mV)，可先排乾池水，使底土曝露在空氣中 4 小時，即可有效提升底土 ORP 及降低 EOM，達到快速改善底質的目的；另，底土曝露 8 小時以內對文蛤的活存沒有任何影響。

表 4 底土曝露時間對底土改善及文蛤活存之影響

處理方式	4 小時組	8 小時組	12 小時組
最初 ORP (mV)	-121.4±15	-113.2±25	-136.2±18
24 小時 ORP	7.2±1.6	9.6±1.4	7.4±1.7
最初 EOM (mgO ₂ /g 乾土重)	3.65±0.64	3.48±0.53	3.64±1.07
24 小時 EOM	2.86±0.41	2.71±0.82	2.83±0.65
文蛤死亡率			
實驗後 24 小時死亡率 (%)	0	0	0
實驗後 7 天死亡率 (%)	0	0	0.094±0.010
實驗後 14 天死亡率 (%)	0	0	0.250±0.080