

以沙蠶輔助白蝦高密度零換水養殖

楊明樺、鄭金華、陳紫嫻

水產試驗所東港生技研究中心

前言

白蝦 (*Litopenaeus vannamei*) 零換水養殖的主要目的在防範病原隨著水源進入養殖池，以建構完善的生物安全防疫系統。在白蝦養殖過程中，因富含營養的飼料不斷投入以及生物作用，易導致溶氧、pH 與總鹼度的下降以及總懸浮固體濃度的提升，前 3 項因子可藉由加強曝氣與添加鹼性物質來改善，而要控制懸浮固體的濃度，傳統簡易的方式為設置沉澱池或桶槽來移除。

沙蠶為底棲多毛類，營穴居生活並以有機碎屑為食，澳洲學者 Palmer (2012) 在沉澱池中養殖兩種圍沙蠶 (*Perinereis nuntia* and *P. helleri*)，探討其對水中懸浮固體及營養元素的去除效果，結果證實結合沙蠶的砂濾系統可以更有效率地移除總懸浮固體、微細藻類及氮、磷等元素，沙蠶本身還可作為魚蝦生物餌料。因此本研究嘗試使用沙蠶養殖槽作為懸浮固體去除裝置，並以傳統沉澱槽為對照組，探討兩種處理對白蝦高密度零換水養殖系統之水質與產量的影響。

材料與方法

試驗白蝦為東港生技研究中心自行培育的 SIS (Shrimp Improvement Systems Pte Ltd)

F1 白蝦苗，中間育成至均重 0.02 g 時，移至戶外遮雨棚下的 20 m² FRP 桶，每桶放養密度為 400 隻/m²，培育時間 108 天。試驗開始前 2 週將水注入 FRP 桶，水源來自沙層下海水並經砂濾機過濾，每桶注水 17 mt，鹽度 32 psu。為促進桶內硝化細菌生長，桶子中間各安裝一塊以 70% 遮光率之百吉網 (8 × 0.9 m) 重疊 4 層縫製而成的掛網，除供硝化細菌附著，並配合文氏管引導水流方向形成渠道式養殖。試驗區分為結合沙蠶 (處理 1) 與未結合 (處理 2) 等兩種處理方式。處理 1 (桶號 N1 與 N2) 以沙蠶輔助白蝦養殖系統形成雙階養殖，養殖的沙蠶為混齒圍沙蠶 (*Perinereis mictodonta*)。養殖槽規格長 × 寬 × 高為 16.7 × 0.6 × 0.15 m，簡稱沙蠶槽 (代號 P1 與 P2)，採雙層底鋪設，鋪設物由下而上分別為排水板 (30 × 30 × 3 cm)、PE 萬能網與高約 8–9 cm 的蜆殼，注水後水面高出蜆殼約 2 cm。沙蠶苗 (4 剛節疣足幼蟲，約孵化後 5 天) 於試驗前 3 週放養，密度 1 萬隻/m²，每槽放養 10 萬隻，初期投餵鰻粉，隨沙蠶成長依序更換餌料為蝦苗粉料、紅筋苗料、黑殼苗料與 0 號料，每日投餵 1 次。白蝦與沙蠶槽的水流循環方式為利用 1 台 32 W 沉水馬達將蝦池水抽至沙蠶槽，約每 1.5 m 設一出水口，滿溢水再利用重力回到蝦池；抽水端設置回流裝置以控制循環次數，進而

調控蝦池的懸浮固體濃度，設定目標濃度為 300–400 ppm。試驗初流量 7.2 L/min，每日循環 0.6 次，每週監測懸浮固體濃度以作為調整循環週期依據，到了試驗末期最大流量 17.8 L/min，每日循環 1.5 次。試驗期間管路易沉積淤泥而影響流速，須定期疏通。每個沙蠶槽安裝 16 個曝氣石協助增氧。處理 2 (桶號 N3 與 N4) 在白蝦桶旁安裝一個容積為 0.3 mt 的懸浮顆粒沉澱槽，養殖水流經沉澱槽時懸浮顆粒易沉澱於底部，或上浮堆積於表層，中上層清水以氣動幫浦導回白蝦桶。試驗初期流速 4–6 L/min，每日循環 0.4 次；試驗中後期最大流速 19.3 L/min，每日循環 1.6 次，養殖過程管路同樣易堆積淤泥而須經常疏通。沉澱槽須不定期撈除表層或排放底部淤泥，記錄總排放淤泥量，並估算所收集的懸浮固體量 (以乾重計)。蝦池在試驗初僅以曝氣石 (36 個/桶) 擾動水體以維持有機物懸浮及增氧，試驗進行至第 6 週時 (蝦均重約 2 g)，為避免有機物沉積與溶氧不足，每桶均安裝 1 台 1/2 hp 陸上型抽水幫浦，並連接 6 個 6 分文氏管，除了增氧並可充分擾動水體與增加水流。試驗期間每天投餵 3–4 次 (04:00、09:00、14:00、20:00) 含 37% 粗蛋白的草蝦飼料。每週測量 1 次白蝦均重，估算白蝦生物量與投餵率，實際投餵量根據殘餌量與白蝦成長情形隨時調整。每週檢測一次水質，項目包含 DO、pH、鹽度、水溫 (WTW, multi 340i)、總氨氮 (TAN)、硝酸鹽氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、亞硝酸鹽氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$)、正磷酸鹽磷 ($\text{PO}_4\text{-P}$) (環檢所公告之分光光度計法)、總鹼度 (滴定法)、總懸浮固體濃度 (103–105°C 乾燥、NIEA W210.56A) 與可沉澱固體

濃度 (Imhoff cone test)。若總氨氮濃度高於 1 ppm (1 mg N/L) 以上，則添加含碳量 50% 的碳水化合物量為 20 mg/L (依據 Avnimelech, 1999 公式推算)，本試驗使用的碳水化合物為糖蜜 (購自和順企業)。若總鹼度降至 100 mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$ 以下，則添加氫氧化鈣或小蘇打；試驗期間因蝦子出現軟殼現象，亦嘗試添加乳酸鈣來改善。每 1–2 週補充淡水以彌補因排污或蒸發而降低的水位，每桶安裝 6 分水錶記錄添加量。試驗結束時計算各組白蝦與沙蠶的活存率、均重、產量及 FCR。

結果與討論

一、水質方面

試驗期間兩種處理的水溫均介於 25–32°C，平均水溫均為 28°C (表 1)，為適合白蝦成長的水溫範圍。兩種處理的總鹼度與 pH 均隨著白蝦的成長而逐漸下降，試驗第 9 週時，處理 2 的總鹼度已降至 84 mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$ ，處理 1 也降至 102–109 mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$ ，此時開始在各桶添加氫氧化鈣與碳酸氫鈉。Wasielsky (2015) 指出，每日添加 10–20% 飼料量的氫氧化鈣可維持適當的 pH 與總鹼度；另，每添加 1.4–1.7 ppm 碳酸氫鈉可提升 1 ppm 總鹼度 (Thomas and Dennis, 2015; Boyd, 2016)；因此，初期添加量係參考上述結果，秤取兩種化合物後直接投入水中，之後則配合每週之水質數據調整添加量，以少量多次添加為原則，以緩和水质變化。試驗結束時，處理 1 的 pH 為 7.12–7.18，總鹼度為 164–168 mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$ ；處理 2 的 pH 為 6.18–6.76，總鹼度為 70–86 mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$ 。

表 1 不同移除懸浮顆粒方法對白蝦零換水養殖各項水質參數的影響 (數值為平均值±標準偏差，括弧內為該參數在試驗期間的最小與最大值)

參數	處理 1		處理 2	
	N1	N2	N3	N4
水溫 (°C)	28.4±3.1 (25.5-31.4)	28.5±3.1 (25.3-31.7)	28.4±3.3 (25.3-31.8)	28.3±3.3 (25.2-31.7)
pH	7.6±0.5 (7.0-8.3)	7.6±0.4 (7.1-8.3)	7.4±0.7 (6.2-8.4)	7.5±0.5 (6.8-8.4)
鹽度 (psu)	27.8±3.8 (23.4-33.2)	31.5±1.4 (29.3-33.8)	30.2±1.9 (27.4-32.9)	30.3±2.1 (25.6-33.1)
溶氧 (ppm)	6.2±1.3 (4.1-8.6)	6.0±1.3 (4.2-8.3)	6.2±1.3 (4.4-8.4)	6.1±1.4 (3.4-8.3)
TAN (ppm)	0.2±0.2 (0.0-0.5)	0.1±0.1 (0.0-0.4)	0.1±0.1 (0.0-0.4)	0.2±0.1 (0.0-0.4)
NH ₃ -N (ppm)	0.01±0.01 (0.00-0.05)	0.00±0.01 (0.00-0.02)	0.00±0.01 (0.00-0.02)	0.00±0.01 (0.00-0.02)
NO ₂ -N (ppb)	217.9±131.2 (0.0-342.6)	231.7±128.4 (0.0-330.4)	228.8±124.8 (4.3-350.9)	198.4±127.3 (10.1-347.1)
NO ₃ -N (ppm)	8.9±5.2 (1.4-15.5)	8.5±4.7 (0.8-15.2)	8.4±5.6 (0.8-15.0)	7.7±5.6 (0.9-14.7)
PO ₄ -P (ppm)	10.9±2.8 (0.1-13.3)	10.4±2.6 (0.1-12.8)	11.0±2.9 (0.1-13.1)	11.1±3.3 (0.1-14.3)
總懸浮固體 (ppm)	186.2±114.9 (66.6-400.0)	226.0±155.0 (53.3-512.8)	249.8±172.6 (66.6-520.0)	273.0±172.6 (66.6-540.0)
可沉澱固體 (ml/L)	0.4±0.4 (0.1-1.00)	0.2±0.1 (0.1-0.3)	0.8±0.7 (0.1-2.3)	1.0±0.6 (0.1-2.2)
總鹼度 (mg CaCO ₃ /L)	131.0±18.7 (102.4-169.1)	137.6±21.2 (108.7-171.1)	111.7±24.1 (69.6-145.9)	120.6±22.4 (84.6-150.6)
移除懸浮固體量 (kg 乾重)	-	-	27.9	30.4
排污量 (L)	-	-	720	850

處理 2 添加了較多的氫氧化鈣與碳酸氫鈉 (表 2)，然而 pH 與總鹼度卻仍無法有效提升。試驗期間以補充淡水來維持排污與蒸發所降低的水位，處理 1 因未曾排污，理論上鹽度應維持恆定，不過 N1 因一次補充淡水的疏忽使鹽度降至 23.4 psu；N4 則在試驗結束前因尼伯特颱風灌進大量雨水，鹽度因此降至 25.6 psu。隨著白蝦成長，兩種處理的溶氧均逐漸下降，不過大致還能維持在 4 ppm 以上。試驗期間兩種處理的氨氮化合物均維持在安全且合理的範圍，總氨氮與非離子態氨氮 (NH₃-N) 均分別低於 0.5 與 0.05 ppm，亞硝酸鹽氮均低於 0.5 ppm，硝酸鹽氮

表 2 白蝦在兩種懸浮顆粒移除模式下的各種添加物量與成本估算

	處理 1		處理 2	
	N1	N2	N3	N4
氫氧化鈣 (kg)	6.90	7.05	7.40	7.05
碳酸氫鈉 (kg)	3.50	2.00	8.45	6.20
乳酸鈣 (kg)	0.5	0.5	0.7	0.5
自來水 (m ³)	17.1	13.2	12.4	13.4
估算成本 (元)	269	214	325	283

雖逐漸累積，但也不超過 16 ppm。試驗期間各桶正磷酸鹽亦逐漸累積，最高達 14 ppm。此試驗兩種處理的主要目的均在控制白蝦的懸浮固體濃度，懸浮固體過多時易導致溶氧、pH 與總鹼度下降，桶底易堆積有機物而

產生硫化氫，一旦產生硫化氫則容易抑制硝化作用的進行，總氮與亞硝酸鹽氮濃度將因此而提升。本試驗期望控制總懸浮固體濃度在 300–400 ppm，當濃度偏高時則增加白蝦-沙蠶槽或白蝦-沉澱桶的循環次數，並增加沉澱桶的排污頻率。試驗期間處理 2 平均排污 15 次，排污量 720–850 L，移除懸浮固體量 27.9–30.4 kg (以乾重計) (表 1)；試驗結束時結合沙蠶形成雙階養殖的白蝦水體中有較低的總懸浮固體濃度 (300–340 vs. 400–480 ppm)。

二、產量方面

兩種處理的白蝦在試驗結束時的均重差異不大 (21.5 vs. 21.1 g) (表 3)，在密度高達 400 隻/m² 的條件下，每週仍有 1.37–1.39 g 的高成長，不過處理 2 的 N3 在試驗結束前 2 週開始大量死亡，死蝦均呈現剛脫殼狀態，活存率只有 57.8%，以致處理 2 的平均活存率只有 66.0 ± 11.7%，遠低於處理 1 的 78.8 ± 0.7%，因而產量 (kg/m²) 以處理 1 的 6.7 ± 0.1 遠高於處理 2 的 5.6 ± 1.1；處理 1 的 FCR 表現亦較處理 2 好 (1.6 ± 0.1 vs. 1.8 ± 0.3)。雖然處理 1 補充的淡水量較大 (表 2)，不過以生產每公斤蝦的用水量來看，處理 1 的用水效率較好 (表 3)。沙蠶經過 18 週的養殖，從四剛節疣足幼蟲成長至 0.26 g (表 4)，雖然大多仍未達到作為釣餌的上市體型，不過因為是在無特定病原的環境下成長，仍可作為種蝦的優質生餌，產量 (kg/m²)、活存率 (%) 與 FCR 分別為 1.47 ± 0.13、56.4 ± 1.7 與 0.48 ± 0.03，其中 FCR 較以往沙蠶專養時低了 60%，應是白蝦養殖所產生的有機懸浮顆粒可作為部分餌料之故。

表 3 不同的懸浮顆粒移除方法對白蝦零換水養殖各項生產參數的影響

參 數	懸浮固體去除方法	
	處理 1 (N1 & N2)	處理 2 (N3 & N4)
初重 (g)	0.02±0.00	0.02±0.00
末重 (g)	21.5±0.1	21.1±0.4
成長 (g)	21.4±0.1	21.1±0.4
成長率 (g/週)	1.39±0.00	1.37±0.03
活存率 (%)	78.8±0.7	66.0±11.7
產量 (kg/m ²)	6.7±0.1	5.6±1.1
產量 (kg/m ³)	7.9±0.1	6.6±1.3
FCR	1.6±0.1	1.8±0.3
用水量 (L/kg-蝦)	240±18	272±47
用水量 (L/kg-飼料)	146±16	153±2
補水率 (%/天)	0.8±0.2	0.7±0.0

表 4 沙蠶收成結果

參 數	P1	P2
均重 (g)	0.25	0.27
活存率 (%)	55	58
產量 (kg/m ²)	1.38	1.56
FCR	0.45	0.50

結語

結合白蝦與沙蠶的雙階零換水養殖系統有以下優點：(1)沙蠶養殖槽可方便且有效率的移除白蝦養殖過程所產生的懸浮顆粒；(2) pH 與總鹼度下降較緩和；(3)提升白蝦的活存率與產量；(4)提升白蝦與沙蠶的餌料效率；(5)同時收成白蝦與沙蠶，尤其沙蠶池邊價達 1,000 元/kg，可增加收益。未來可發展此技術構建立體式設施養殖，落實生物安全防疫，量產白蝦與沙蠶，解決白蝦成蝦養殖與種蝦投餵野生沙蠶易感染疾病的問題。