

放養密度、附著基質與換水率對白蝦養殖之影響

楊明樺¹ · 鄭金華^{1*} · 康浩琳¹ · 陳一鳴² · 陳紫嫻¹

1 行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心

2 國立中山大學海洋生物科技暨資源學系

摘 要

本試驗在 2 mt FRP 桶中以不換水的方式進行白蝦 (*Litopenaeus vannamei*) 養殖，供給充分的打氣使有機顆粒懸浮於水體中。試驗共分三個部分：(1) 附著基質試驗：放置網套、網袋、掛網、珊瑚砂和無放置物的對照組；(2) 密度試驗：100、200、300 和 400 尾/m²；(3) 不換水及少量換水 (35% 池水/週) 試驗。

試驗結果，以放置網袋組有最大的白蝦產量、平均增重及最佳的飼料轉換率；網套則可隔離最多的懸浮顆粒。白蝦平均增重隨密度的增加而降低，飼養密度超過 200 尾/m² 則生長緩慢，以 100 尾/m² 密度來飼養，雖可得到最大的白蝦平均增重，但以產量看來，200 尾/m² 為最佳的飼養密度。不換水養殖的水質條件，僅正磷酸鹽磷的濃度明顯較少量換水組高；兩組的無機氮化合物濃度均在安全範圍內，故不換水養殖在水質方面亦可達到換水養殖的水準。此外，不換水組的存活率、平均增重及 FCR 和換水組無異，且得到比換水養殖更高的產量。

由本實驗得知，不換水系統中以密度 200 尾/m² 來養殖白蝦，且內置網袋為最佳的不換水養殖組合。

關鍵詞：密度、附著基質、白蝦、不換水

前 言

不換水養殖系統強調選擇健康的種苗，使用低蛋白質含量飼料，以及高密度養殖，在養殖期間不換水且池水循環使用可降低引入病原體之風險及維持水質穩定 (Hopkins *et al.*, 1993; Sandifer and Hopkins, 1996; Buford *et al.*, 2003)。不換水系統因為在養殖過程中零換水，因此不會任意的將富含營養鹽的養殖水排出至環境中，減少環境污染 (Kautsky *et al.*, 2000)。其次，在傳統的高密度換水養殖，都靠換水維持水質 (Hopkins *et al.*, 1993)，換水率約 2 ~ 15% (Schuur, 2003)。Timmons and Losordo (1994) 指出傳統換水養殖每養 1 kg 的蝦子需要用水 20,000 L，且單位水體的生產量低於不換

水式養殖 (Davis and Arnold, 1998; 陳等, 2000)。王和張 (2000) 指出，魚類的不換水養殖產量每噸水可達 100 kg 以上，且單位產出之用水量僅為傳統養殖的三十分之一，故不換水養殖可降低換水所需的成本，也可減少抽取地下水，避免地層下陷 (Kautsky *et al.*, 2000)。又未處理的水可能包含病原體，不應該直接引用 (Pruder, 2004)，不換水則可減少因更換池水而將病源帶進入蝦池的疑慮，降低感染蝦病的機率 (陳, 1995)。然而以不換水方式養殖，亦有其需解決之問題，因高的養殖密度，會造成水質快速改變，因此水質管理為高密度不換水養殖過程中重要的工作。水質的主要問題為有毒無機氮化合物的累積 (Colt and Armstrong, 1981)。養殖池中的無機氮化合物主要是氨氮、亞硝酸鹽氮與硝酸鹽氮，其中以氨氮較容易對蝦子造成毒性，而主要的氮來源為富含蛋白質的飼料。在過去的養殖方式，為了降低有毒物質濃度，常使用大量換水的方式將含氮物質排出，來達到

*通訊作者 / 屏東縣東港鎮豐漁里 67 號；TEL: (08) 832-4121 轉 205；FAX: (08) 832-0234；E-mail: jhcheng@mail.tfrin.gov.tw

穩定水質的效果 (Hopkins *et al.*, 1993; Kautsky *et al.*, 2000)。故不換水養殖系統就需另闢途徑來解決此項問題。

在養殖池中，沉積物內的硝化效率常高於水體 (Blackburn and Henriksen 1983)，所以在養殖池中放置附著基質以增加沉積物的附著，可使硝化效率提升。Avnimelech (1999) 亦指出，生物性濾床可當作硝化細菌的附著基質，使硝化細菌能在其表面附著繁殖以增加硝化作用，解決不換水養殖系統氨氮累積的問題。至於附著基質的種類與效果，Bratvold and Browdy (2001) 使用一種原理為生物性濾床的附著基質 AquaMats™ (Meridian, Calverton, MD)，垂直懸掛於養殖池中，使其著生藻類與細菌，發現此附著基質可增加硝化作用的效率，降低 FCR 以及增加存活率、末重與產量。張 (2005) 則使用四層遮光率 70% 的百吉網縫製而成的掛網內置於養殖池中，試驗最後發現掛網可增加白蝦末重及產量，並提高存活率。由此可見附著基質在不換水系統中確實能發揮功效，本試驗除使用張 (2005) 的掛網外，也嘗試開發其它附著基質種類，並比較其效果。

白蝦 (*Litopenaeus vannamei*) 已成為世界養殖蝦類的主要蝦種，因其換肉率高，相較於其它蝦種在高密度養殖下仍保有成長快、存活率高及抗病力佳等優點，由於不換水養殖強調高的放養密度，因此本試驗選擇其作為實驗對象，探討在不換水條件以不同附著基質及不同放養密度對白蝦養殖的影響。

材料與方法

一、不換水養殖設施中的附著基質對白蝦成長及水質之影響

本試驗以不同方式隔離有機顆粒，探討對白蝦成長、存活率及水質的影響。試驗桶為 2 m³ (2 m × 1 m × 0.9 m) FRP 桶，每桶以舊水：新水 = 2 : 1 注入共 1.6 mt、30 psu 海水，舊水為原蝦苗池的池水，新水自海邊沙層下抽取並經石英砂過濾。附著基質分為網套、網袋、掛網與珊瑚砂，並設一無放置物組作為對照。網套為單層遮光率 70% 的百吉網，沿桶壁放在 FRP 桶內側，並以鉛錘及磚

塊固定網底，可將懸浮固體隔離在網套與桶壁之間。網袋截面呈 T 型，可收集水中的懸浮顆粒，上層收集平台為遮光率 60% 的百吉網 (0.5 m × 1 m)，下層收集袋為遮光率 80% 的百吉網 (0.3 m × 1 m) 並縫製成三格，每桶放置兩個網袋。掛網組以四層遮光率為 70% 之百吉網 (0.6 m × 0.9 m) 重疊縫製而成，每桶掛置兩張。珊瑚砂組則是在桶底鋪 10 cm 厚、顆粒大小約 1 cm × 1 cm × 4 cm 的珊瑚砂。各桶上方均架設高 50 cm 之 PVC 萬能網作為圍網，以防止蝦子跳出桶外。

每桶放養密度為 200 尾/m²，共 400 尾白蝦幼苗，蝦苗為水試所生物技術組甲殼類研究室自行繁殖，經檢測均不帶白斑、桃拉及黃頭症等病毒。四種附著基質處理組 (網套、網袋、掛網、珊瑚砂) 及對照組的初始平均重量分別為 1.12 g、1.19 g、1.30 g、1.30 g 與 1.19 g，各組三重複。試驗期共 88 天，使白蝦達 10 g 以上的上市體重。飼養期間不換水、也不循環過濾，每星期以自來水補足蒸發水分。每桶各放置 4 個打氣石以提供溶氧 (5 ppm 以上)。開始飼養後每天餵食兩次共為蝦體重 11% 的草蝦飼料 (蛋白質含量為 38%)。每兩星期測量各桶白蝦的平均體重，以記錄其成長情形，並作為往後投餌量的參考。

每星期檢測水質，步驟為取 500 mL 的池水，使用 Whatman GF/C 孔徑為 1.2 μm 的濾紙，以水流抽氣機 (Eyela) 過濾後，再測量氨氮 (Alternative Method, Parsons *et al.*, 1984)、亞硝酸鹽氮 (Parsons *et al.*, 1984)、硝酸鹽氮 (水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法, NIEA W419.50A)、正磷酸鹽磷 (Ascorbic Acid Method, Greenberg *et al.*, 1992)、pH 值 (YSI, pH100) 及溶氧 (YSI, DO200)，當 pH 值低於 7.0 時，適量添加熟石灰 (Ca(OH)₂) 使介於 7.0 ~ 8.0。每月初及試驗結束時測量懸浮固體濃度 (水中懸浮固體檢測方法—103 ~ 105 °C 乾燥, NIEA W210.56A)。

養殖結束後計算各組白蝦的存活率、平均增重、產量和飼料轉換率 (feed conversion ratio, FCR)。試驗數據先進行變異數分析 (analysis of variance)，如有差異再以鄧肯氏多變域分析 (Duncan's multiple range test) 比較不同處理組間的差異顯著性。

Table 1 Survival, average weight gain, yield and FCR of shrimps cultivated in tanks with different substrates

	Group				
	Net-pockets	Net-liners	Mats	Goral granules	Blank
Survival (%)	92.1±0.9 ^A	96.4±3.2 ^A	92.1±6.2 ^A	93.3±6.7 ^A	77.8±4.0 ^B
Average weight gain (g)	12.70±2.23 ^A	10.76±0.94 ^{AB}	9.49±1.55 ^B	8.44±2.07 ^B	9.48±0.56 ^B
Yield (kg/m ²)	2.56±0.42 ^A	2.29±0.09 ^{AB}	1.97±0.18 ^{ABC}	1.83±0.51 ^{BC}	1.66±0.09 ^C
FCR	1.39±0.10 ^B	1.52±0.04 ^{AB}	1.59±0.07 ^{AB}	1.71±0.24 ^{AB}	1.79±0.26 ^A

Means with different superscripts in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

二、放養密度對不換水養殖白蝦之成長及水質的影響

本試驗探討白蝦在不換水養殖條件下，不同密度對其成長及存活率的影響。試驗桶均內置網套，其餘條件及方法與試驗一相同。

在試驗桶內分別放入密度為 100、200、300 和 400 尾/m² 的白蝦幼苗，各試驗組初始平均重量分別為 1.42 g、1.12 g、1.25 g 與 1.17 g，各組三重複。飼養期間，投餵、管理均與試驗一相同。

三、比較換水和不換水對白蝦養成的影響

本試驗比較白蝦在換水與不換水養殖條件下對其成長及存活率的影響。試驗用水槽均內置網套，其餘條件與試驗一相同。以上試驗為同一時間進行。

每桶放入密度 200 尾/m² 共 400 尾白蝦幼苗。換水組與不換水組初始平均體重分別為 1.12 g 與 1.17 g，兩組均三重複。換水組每星期換去原水的 35%，由 FRP 桶底部排出池水，再以 2.8 mt/h 添入新水。飼養期間投餵、管理均與試驗一相同。

結 果

一、不換水養殖設施中的附著基質對白蝦成長及水質之影響

試驗結束時，各組存活率、平均增重、產量與飼料轉換率分別如 Table 1。其中，無放置組存活率為 77.8 ± 4.0%，明顯低於其它四組的 92.1 ± 0.9 ~ 96.4 ± 3.2% ($p \leq 0.05$)。網袋組的平均增重為

12.7 ± 2.23 g，明顯較掛網組、珊瑚砂組及無放置組高 ($p \leq 0.05$)；產量達 2.56 ± 0.42 kg/m²，明顯較珊瑚砂組及無放置組高 ($p \leq 0.05$)。飼料轉換率也以網袋組的 1.39 ± 0.1 表現較佳，明顯低於無放置組 ($p \leq 0.05$)。

各試驗組在養殖期間平均每桶加入的石灰量如下：網套組 100 g、網袋組 500 g、掛網組 1200 g、珊瑚砂組 0 g、與無放置組 1350 g。珊瑚砂組 pH 值都維持在 7.0 以上，故無須添加石灰。

總氨氮 (Total Ammonia Nitrogen, TAN) 濃度方面，網套、網袋與無放置組在第一週最高，分別達 0.80 ± 0.39 mg/L、1.37 ± 1.78 mg/L、1.68 ± 1.07 mg/L，於第二週下降並穩定在 0.2 mg/L 左右，到第八週又略為升高 (Fig. 1)。各組亞硝酸鹽氮 (NO₂-N) 濃度皆在第二週上升至最高點，其中無放置物組達 814 ± 20 μg/L，之後下降並穩定在 44 ± 25 ~ 458 ± 52 μg/L 之間 (Fig. 2)。從第五週開始至試驗結束，網袋組亞硝酸鹽氮濃度明顯高於其它四組 ($p \leq 0.05$)。硝酸鹽氮 (NO₃-N) 濃度隨著養殖期間持續上升 (Fig. 3)。其中，網套組、網袋組和珊瑚砂組明顯較其它二組低 ($p \leq 0.05$)。各組之正磷酸鹽磷 (PO₄-P) 濃度於養殖期間持續上升，最高為網套組，在試驗結束前達 19.56 ± 0.71 mg/L (Fig. 4)。至試驗結束前一週，珊瑚砂組正磷酸鹽磷濃度明顯低於其它四組 ($p \leq 0.05$)。掛網組和無放置物組的總懸浮固體 (TSS) 濃度隨養殖時間增加而明顯提升，其它三組則較穩定 (Fig. 5)。試驗結束時，掛網組和無放置物組的懸浮固體濃度明顯高於其它三組 ($p \leq 0.05$)。試驗結束將附著基質取出後，只有網套組及網袋組取出附著基質前後懸浮固體濃度有明顯差異 ($p \leq 0.05$) (Table 2)。

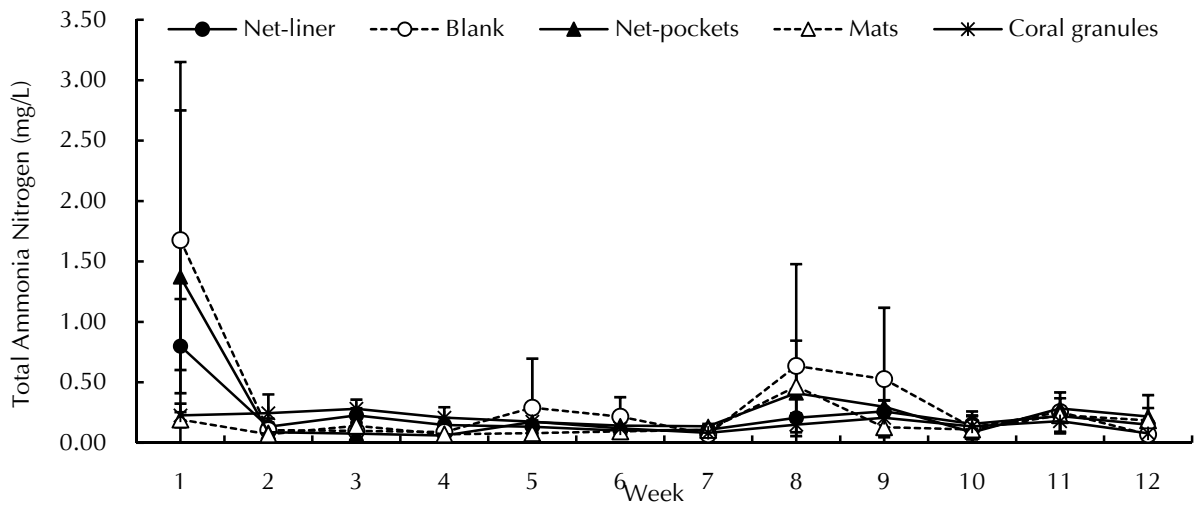


Fig. 1 Changes of mean concentration of total ammonia nitrogen of rearing water in tanks with different substrate. Mean \pm SD, n=3.

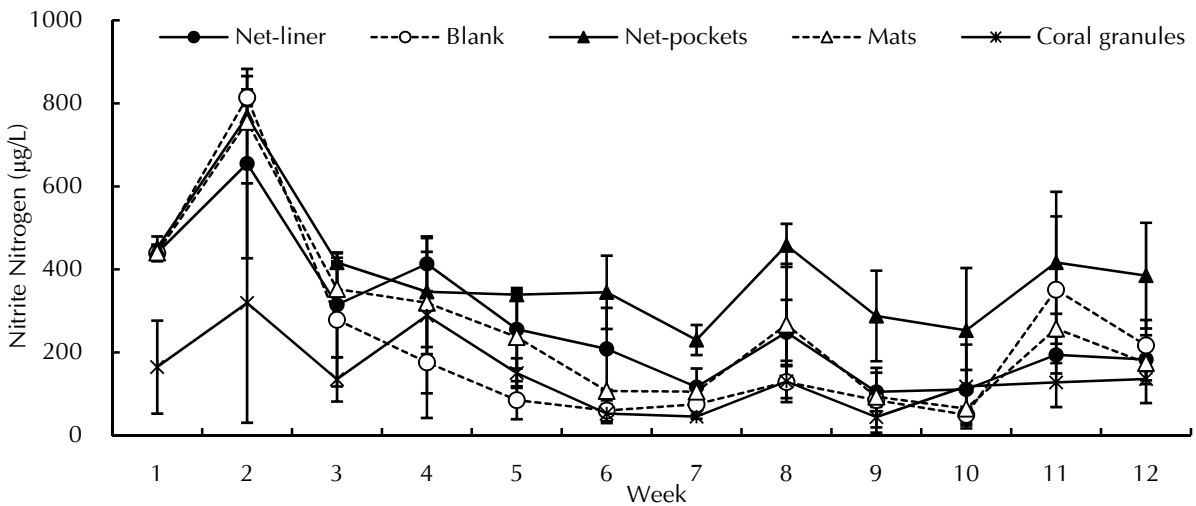


Fig. 2 Changes of mean concentration of nitrite nitrogen of rearing water in tanks with different substrate. Mean \pm SD, n=3.

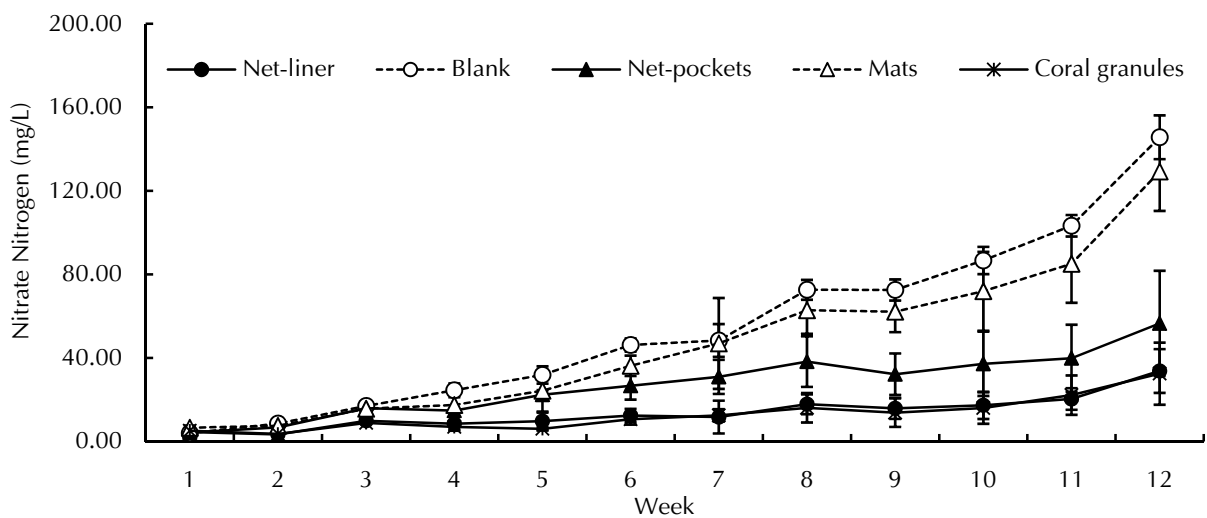


Fig. 3 Changes of mean concentration of nitrate nitrogen of rearing water in tanks with different substrate. Mean \pm SD, n=3.

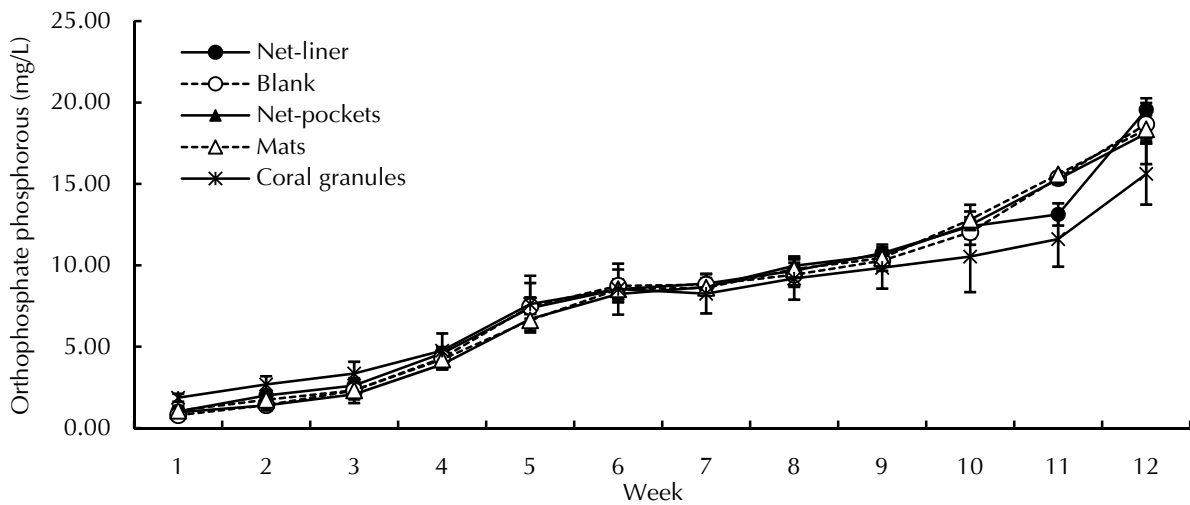


Fig. 4 Changes of mean concentration of orthophosphate phosphorous of rearing water in tanks with different substrate. Mean \pm SD, $n=3$.

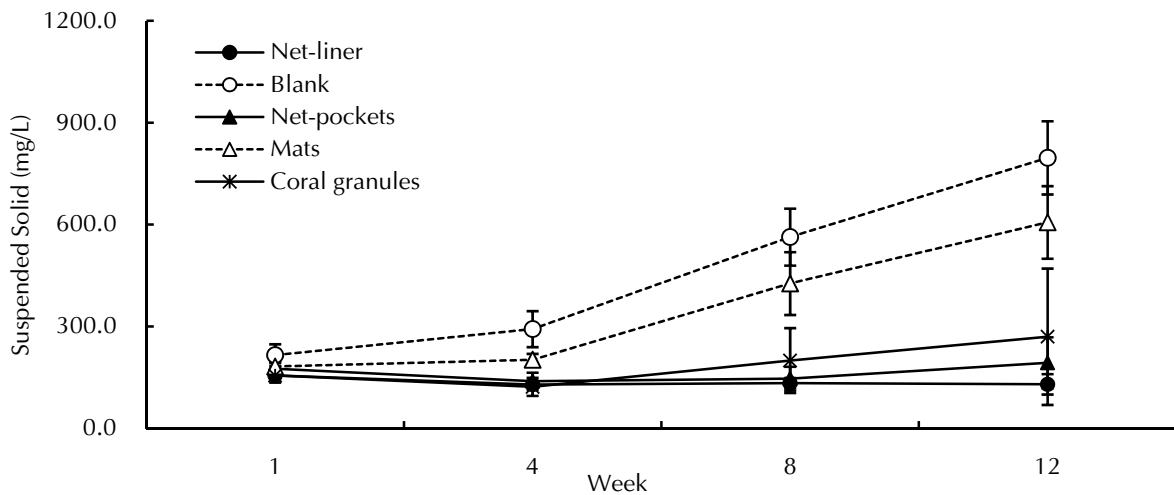


Fig. 5 Changes of mean concentration of suspended solid of rearing water in tanks with different substrate. Mean \pm SD, $n=3$.

Table 2 Changes of mean concentration of suspended solid (mg/L) when taking out the built-in substrat

	Group				
	Net-liners	Net-pockets	Mats	Coral granules	Blank
Before	130.0 \pm 30.0 ^B	193.3 \pm 75.1 ^B	606.7 \pm 106.9 ^A	270.0 \pm 200.7 ^A	796.7 \pm 107.9 ^A
After	473.3 \pm 60.3 ^A	495.8 \pm 62.6 ^A	643.3 \pm 133.2 ^A	533.3 \pm 75.7 ^A	793.3 \pm 100.2 ^A

Means with different superscripts in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

二、放養密度對不換水養殖白蝦之成長及水質的影響

試驗結束時，顯示白蝦存活率受密度影響 (Table 3)，以密度 100 尾/ m^2 組的 $98.7 \pm 1.0\%$ 高於

密度 300 尾/ m^2 及 400 尾/ m^2 組 ($p \leq 0.05$)。平均增重隨密度增加而降低，100 尾/ m^2 和 200 尾/ m^2 組的白蝦平均增重分別為 11.77 ± 1.54 g 與 10.76 ± 0.94 g，明顯高於 300 尾/ m^2 和 400 尾/ m^2 組 ($p \leq 0.05$)。白蝦產量隨密度增加而提升，以 400 尾/ m^2 組的

Table 3 Survival, average weight gain, yield and FCR of shrimps cultivated in tanks with net-liners at different stocking densities

	Group			
	100/m ²	200/m ²	300/m ²	400/m ²
Survival (%)	98.7±1.0 ^A	96.4±3.2 ^{AB}	92.4±0.4 ^B	93.0±2.5 ^B
Average weight gain (g)	11.77±1.54 ^A	10.76±0.94 ^A	6.56±1.71 ^B	5.61±0.93 ^B
Yield (kg/m ²)	1.3±0.12 ^B	2.29±0.09 ^A	2.16±0.50 ^A	2.52±0.41 ^A
FCR	1.66±0.11 ^{AB}	1.52±0.04 ^B	1.92±0.34 ^A	1.78±0.12 ^{AB}

Means with different superscripts in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 4 Survival, average weight gain, yield and FCR of shrimps cultivated in tanks with different treatments of water

	Group	
	Exchange water	Zero-exchange water
Survival (%)	97.6±1.9 ^A	96.4±3.2 ^A
Average weight gain (g)	9.31±0.63 ^A	10.76±0.94 ^A
Yield (kg/m ²)	2.04±0.11 ^B	2.29±0.09 ^A
FCR	1.49±0.08 ^A	1.52±0.04 ^A

Means with different superscripts in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$)

2.52 kg 尾/m² 為最高。飼料轉換率以 200 尾/m² 組的 1.52 ± 0.04 優於 300 尾/m² 組 ($p \leq 0.05$)。

各試驗組在養殖期間每桶的石灰添加量隨密度增加而增加，分別為 100 尾/m² 組 0 g、200 尾/m² 組 100 g、300 尾/m² 組 200 g、400 尾/m² 組 600 g。各組總氨氮濃度皆在第一週最高，400 尾/m² 組達 3.68 ± 1.54 mg/L，於第二週後下降並穩定在 0.2 mg/L 左右。除第一週隨密度增加而增加外，其餘時間在各組之間均無顯著差異。各組亞硝酸鹽氮濃度皆在第二週上升至最高點，其中 100 尾/m² 組達 868 ± 29 µg/L，之後下降並穩定在 400 µg/L 以下。硝酸鹽氮濃度在養殖期間持續上升，也隨著密度增加而增加，最高為 400 尾/m² 組，在試驗結束前達 51.94 ± 6.61 mg/L。各組之正磷酸鹽磷濃度於養殖期間持續上升，並隨著密度增加而增加，最高達 19.56 ± 0.71 mg/L。懸浮固體濃度方面，因四組皆內置網套，故試驗期間皆呈現穩定狀態，各組之間無顯著差異，濃度介於 110.0 ± 20.0 ~ 179.2 ± 15.2 mg/L。

三、比較換水和不換水對白蝦養成的影響

試驗結束時換水組與不換水組之存活率、平均增重及飼料轉換率無顯著差異 ($p \geq 0.05$)。產量以不換水組的 2.29 ± 0.09 kg/m² 高於換水組的 2.04 ± 0.11 kg/m² ($p \leq 0.05$) (Table 4)。兩組總氨氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮與懸浮固體濃度在試驗結束前皆無顯著差異 ($p \geq 0.05$)。第二週起至試驗結束，不換水組正磷酸鹽磷濃度明顯較換水組高 ($p \leq 0.05$)。

討 論

一、不換水養殖設施中的附著基質對白蝦成長及水質之影響

本試驗進行時正值台灣夏季，水溫維持在 26 ~ 29.4 °C，溶氧皆高於 5 mg/L，pH 值以添加石灰方式調整在 7.0 ~ 8.0，均符合白蝦正常成長的條件。

傳統養殖方式靠大量換水來維持水質，不換水養殖則易造成氨氮的累積，釋放出對水產生物毒性較強的分子態氨氮 (NH_3)。在不換水養殖系統中，將氨氮吸收轉化的主要途徑有二，一為被植物性浮游生物所吸收，另一則是被硝化細菌利用，轉化為毒性較低的硝酸鹽氮 (Thakur and Lin, 2003)，所以不換水養殖須培養良好的植物性浮游生物和硝化細菌來維持水質的穩定。本試驗五種附著基質處理組中，試驗結束前總氨氮濃度無顯著差異且皆低於 0.22 mg/L，比 Lin and Chen (2001) 所建議的總氨氮對白蝦稚蝦在 25 psu 及 35 psu 的安全濃度 3.55 mg/L 和 3.95 mg/L 還低很多，因此，各試驗組的總氨氮濃度並不影響白蝦的存活及成長。上述結果，也顯示不換水系統能有效地轉換總氨氮。在第八週及第九週時，總氨氮的濃度略為上升，可能是持續的投餵飼料，總氨氮來不及轉換所致。

亞硝酸鹽為總氨氮硝化作用與硝酸鹽脫氮作用的中間產物，亞硝酸鹽的累積會使水質惡化、降低成長、增加耗氧量和氨氮排泄，甚至造成高死亡率 (Chen and Chen, 1992)。Chen and Lei (1990) 指出亞硝酸鹽對草蝦稚蝦飼育期間的安全濃度為 3.8 mg/L，Lin and Chen (2003) 則指出亞硝酸鹽對白蝦稚蝦在 25 psu 及 35 psu 的安全濃度分別為 15.2 mg/L 和 25.7 mg/L。試驗至後期時，雖然網袋組的亞硝酸鹽氮濃度比其他四組都高，但也低於 0.4 mg/L，較建議安全濃度低許多。

在硝酸鹽氮方面，五組皆呈持續累積狀態，顯示不換水系統能有效地將氨氮經亞硝酸鹽轉化為硝酸鹽而降低其毒性。掛網組及無放置組的硝酸鹽氮濃度到最後明顯高於其它三組，這可能與上述兩個試驗組無缺氧環境有關，因為在缺氧環境下，脫氮菌可將硝酸鹽轉化為 N_2 後徹底自養殖水體中移除，而網袋、網套以及珊瑚砂組皆具有局部隔離的缺氧環境 (溶氧低於 0.2 mg/L)，有機會進行脫氮作用。另外，試驗期間水體的有機物不斷累積而造成水體酸化，因此需添加石灰來調整 pH 值，其中以無放置組及掛網組添加量最多，網袋與網套組僅須少量添加，珊瑚砂組則完全無須添加，這與 Bratvold and Browdy (2001) 在養殖槽底部鋪砂即能減緩 pH 值下降，並且在試驗期間無須添加鹼基的結果相似，其背後機制可能就是

脫氮作用的進行，因為脫氮作用可以增加鹼度，在循環水養殖系統結合脫氮作用可以免除或減少鹼性物質的添加 (van Rijn *et al.*, 2006)。

一般的蝦飼料中含有 1.5 ~ 2.5% 的磷，這些磷大多是來自魚粉，而蝦體內的含磷量為 1.07 ~ 1.16% (Penafloida, 1999)。故不換水系統中，部分的磷被蝦子吸收，其餘皆累積在水體內。

試驗結束時，掛網組及無放置組的懸浮固體濃度明顯高出其它三組，這是因為部分懸浮固體被網袋、網套及珊瑚砂所隔離，如此，一方面可降低水體內懸浮固體濃度，另一方面，隔離區內形成的缺氧環境 (溶氧低於 0.2mg/L) 有利於硝酸鹽經脫氮菌轉化為 N_2 而降低硝酸鹽的濃度。附著基質取出後計算結果，網套隔離了 72.5% 的懸浮固體，珊瑚砂為 49.4%，網袋為 46.3% 及掛網組為 5.7%。張 (2005) 指出，白蝦較適合生存在混濁的水體內，未經過濾的池子，其白蝦的末重、產量及 FCR 都較佳；因為池水中 46% 的顆粒性有機碳由藻類、細菌及原生動物等生物組成，其餘 54% 為有機碎屑，顆粒大於 5 μm 的顆粒性有機碳可被白蝦攝食利用 (Moss and Pruder, 1995)。然而池中過多的有機顆粒一方面會增加生化需氧量，可能導致蝦子缺氧；另一方面，過多的懸浮固體或浮游生物可能阻塞蝦子鰓部，導致蝦子緊迫，因此須要控制懸浮固體濃度在合理範圍才能維持生產系統穩定並提昇白蝦產量 (Ray *et al.*, 2010)。以此次實驗看來，網袋組不論在存活率、平均增重、產量及 FCR 中都表現較佳，所以推測池中的懸浮固體維持在 200 mg/L 左右為較佳的成長環境，若高達無放置組的 800 mg/L 時，則可能導致低的存活率及高的飼料轉換率。

二、放養密度對不換水養殖白蝦之成長及水質的影響

因為此不換水系統的硝化作用佳，故在四組不同密度的試驗組中，總氨氮及亞硝酸鹽氮都順利轉化成硝酸鹽氮。400 尾/ m^2 組由於蝦子密度較高，投餵的飼料較多，故硝酸鹽氮濃度較其它三組高。懸浮固體方面，因為皆內置網套，所以試驗結束懸浮固體的濃度無顯著差異。

不同密度組的平均增重顯現出密度效應，以

Table 5 Concentration of total ammonium nitrogen (TAN), nitrate, nitrite and orthophosphate in exchange, circulation and zero-exchange water cultivation system

Study	Concentration(mg/L)			
	TAN	Nitrate + Nitrite	Orthophosphate	
Exchange water	Cowan <i>et al.</i> (1999)	0.56	0.1	0.03
	Martin <i>et al.</i> (1998)	0.01	0.001	-
	Ziemann <i>et al.</i> (1992)	0.06	0.03	0.04
	This study	0.12	74.48	20.04
Circulation water	Burford <i>et al.</i> (2003)	0.90	2.77	0.6
Zero-exchange water	This study	0.15	150.02	59.94

100 尾/m² 組的平均增重較高且幾乎為 400 尾/m² 組的兩倍，顯示過高的密度抑制了白蝦的成長。較大的白蝦體重在市場上可獲得較高的單價，故可降低飼養密度來達到短時間內較快的成長。以產量而言，四組飼養密度中，200 尾/m²、300 尾/m² 及 400 尾/m² 組的產量皆明顯高於 100 尾/m² 組，即要有高的產量則放養密度至少須 200 尾/m² 以上。在本試驗中，200 尾/m² 組的飼養密度不但有較高的平均增重及產量，其對飼料的利用效率也較好，這與張 (2005) 的實驗相呼應，其以 100、150/m² 與 200 尾/m² 的密度飼養白蝦，得到 200 尾/m² 為最佳飼養密度，再以本試驗更高的養殖密度看來，要獲得較高的利潤及較低的飼料成本，白蝦的不換水養殖密度以 200 尾/m² 為最佳。

三、比較換水和不換水對白蝦養成的影響

為了降低有毒物質的濃度，傳統養殖業者常以大量換水的方式將含氮物質排出，排出的池水除含氮物質外也富含其它營養鹽，造成環境污染 (Hopkins *et al.*, 1993; Kautsky *et al.*, 2000)。此外，在注水的過程中可能將病原引入池中。在不換水的養殖系統中養蝦，含氮物質能轉變成細菌蛋白質，減少總氮濃度，維持水質穩定，蝦子同時可利用異營菌增生後所形成的膠羽(flock)或微細藻與碎屑當作食物 (Avnimelech *et al.*, 1994; Moss *et al.*, 1995, 1999; Avnimelech, 1999; Browdy *et al.*, 2001)。水中含氮物質不會因換水而流失，蝦子

又能吸收氮循環再利用後的產物，可減少飼料中的蛋白質需求量 (Hopkins *et al.*, 1995)。

傳統的換水養殖和循環系統養殖的總氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽和正磷酸鹽的濃度如 Table 5。本試驗中的硝酸鹽、亞硝酸鹽和正磷酸鹽的濃度比上述兩種養殖方式高出許多，但亦不影響存活率及產量。從傳統的換水養殖中硝酸鹽與亞硝酸鹽濃度相對低了許多來看，其中的硝化作用較少或甚至是沒有的，因為換水的結果同時將生長緩慢的硝化細菌排出池外 (Juliette *et al.*, 1993)。

本試驗中換水和不換水組白蝦的存活率、平均增重及飼料轉換率無顯著差異，但不換水組的產量高於換水組。Moss *et al.* (2001) 曾以不同水源養殖白蝦，發現在舊有白蝦養殖池的池水中各種消化酵素的濃度都較高，白蝦的成長亦比以過濾海水作為養殖用水的處理組為佳，因此 Moss 等人認為除了餌料生物之外，養殖水體中消化酵素的濃度也會影響白蝦成長。故以不換水養殖和換水養殖相比，除了可降低換水的成本，一樣可得到高的存活率和平均增重，甚至得到比換水養殖更高的產量。

參考文獻

- 陳瑤湖 (1995) 水產養殖與水的循環過濾. 農委會漁業特刊, 51: 6-13.
 王世經, 張銘智 (2000) 超集約室外循環水系統養殖日本鰻. 生物資源生物技術, 2: 51-56.

- 中華民國行政院環境保護署環境檢驗所 (2005) 硝酸鹽氮(水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法, NIEA W419.50A). 總懸浮固體, 總固體 (水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103°C ~ 105°C 乾燥, NIEA W210.56A).
- 張浚銘 (2005) 不換水白蝦養殖技術之建立. 國立中山大學海洋生物研究所碩士論文, 127 pp.
- 陳秀男, 沈士新, 冉繁華, 林清龍, 王俊順, 黎錦超 (2000) 蝦類養殖技術實用大全. 觀賞魚雜誌社, 台北, 台灣.
- Avnimelech, Y. (1999) C/N ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176: 227-235.
- Avnimelech, Y., M. Kochva and S. Diab (1994) Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted C to N ratio. *Isr. J. Aquacult.-Bamid.*, 46: 119-131.
- Blackburn, T. H. and K. Henriksen (1983) Nitrogen cycling in different types of sediments from Danish water. *Limnol. Oceanogr.*, 28: 477-493.
- Bratvold, D. and C. L. Browdy (2001) Effects of sand sediment and vertical surfaces (AquaMats™) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. *Aquaculture*, 195: 81-94.
- Browdy, C. L., D. Bratvold, A. D. Stokes and R. P. McIntosh (2001) Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. *In* The New Wave: Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, *Aquaculture 2001* (C. L. Browdy and D. E. Jory eds.), The World Aquaculture Society, Baton Rouge, U. S. A., 20-34.
- Burford, M. A., P. J. Thompson, R. P. McIntosh, R. H. Bauman, and D. C. Pearson (2003) Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219: 393-411.
- Chen, J. C. and S. F. Chen (1992) Effects of nitrite on growth and molting of *Penaeus monodon* juveniles. *Comp. Biochem. Physiol.*, 101: 453-458.
- Colt, J. and D. Armstrong (1981) Nitrogen toxicity to fish, crustaceans and molluscs. *In* Bio-engineering Symposium for Fish Culture. American Fisheries Society, Bethesda, MD, 34-47.
- Cowan, V. J., Lorenzen, K. and S. J. Funge-Smith (1999) Impact of culture intensity and monsoon season on water quality in Thai commercial shrimp ponds. *Aquac. Res.*, 30: 123-133.
- Davis, D. A. and C. R. Arnold (1998) The design, management and production of a recirculating raceway system for the production of marine shrimp. *Aquacult. Eng.*, 17: 193-211.
- Greenberg, A. E., L. S. Clesceri and A. D. Eaton (1992) Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater-4500-P E. Ascorbic Acid Method, 4-115.
- Hopkins, J. S., R. D. Hamilton, P. A. Sandifer, C. L. Browdy and A. D. Stokes (1993) Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *J. World Aquacult. Soc.*, 24: 304-320.
- Hopkins, J. S., P. A. Sandifer and C. L. Browdy (1995) Effect of two feed protein levels and feed rate combinations on water quality and production of intensive shrimp ponds operated without water exchange. *J. World Aquacult. Soc.*, 26: 93-97.
- Juliette, L. Y., M. R. Hyman and D. J. Arp (1993) Inhibition of ammonia oxidation *Nitromonas europaea* by sulfur compounds: thioethers are oxidized to sulfoxides by ammonia monooxygenase. *Appl. Environ. Microb.*, 59: 3718-3722.
- Kautsky, N., P. Rönnbäck, M. Tedengren and M. Troell (2000) Ecosystem perspectives on management of disease in shrimp pond farming. *Aquaculture*, 191: 145-161.
- Lin, M. N., Ting, Y. Y., Tzeng, B. S. and C. Y. Liu (1989) Penaeid Parental Shrimp Rearing: Culture of the Third Generation in *Penaeus vannamei*. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 17: 125-132.
- Lin, Y. C. and J. C. Chen (2001) Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 259: 109-119.
- Lin, Y. C. and J. C. Chen (2003) Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 224: 193-201.
- Martin, J.-L. M., Y. Veran, O. Guelorget and D. Pham (1998) Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the N budget in rearing ponds. *Aquaculture*, 164: 135-149.
- Moss, S. A. and G. D. Pruder (1995) Characterization of organic particles associated with rapid growth in juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, reared under intensive culture conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 187: 175-191.
- Moss, S. M., S. Divakaran and B. G. Kim (2001)

- Stimulating effects of pond water on digestive enzyme activity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone. *Aquaculture*, 199: 311-321.
- Moss, S. A., G. D. Pruder and T. M. Samocha (1999) Environmental management and control: controlled ecosystem and biosecure shrimp growout systems. *In* Controlled and Biosecure Production Systems: Preliminary Proceedings of a Special Integration of Shrimp and Chicken Models (R. A. Bullis and G. D. Pruder eds.), 27-30 April, Sydney, Australia, World Aquaculture Society, 87-91.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli (1984) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Determination of Nitrite, 7-9. Determination of Ammonia (Alternative Method), 14-17.
- Penaflores, V. D. (1999) Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juvenile shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 172: 281-289.
- Pruder, G. D. (2004) Biosecurity: application in aquaculture. *Aquacult. Eng.*, 32: 3-10.
- Ray, A. J., B. L. Lewis, C. L. Browdy and J. W. Leffler (2010) Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299:89-98.
- Sandifer, P. A. and J. S. Hopkins (1996) Conceptual design of a sustainable pond-based shrimp culture system. *Aquacult. Eng.*, 15: 41-52.
- Schuur, A. M. (2003) Evaluation of biosecurity applications for intensive shrimp farming. *Aquacult. Eng.*, 28: 3-20.
- Thakur, D. P. and C. K. Lin (2003) Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquacult. Eng.*, 27: 159-176.
- Timmons, M. B. and T. M. Losordo (1994) *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management*. Elsevier, Amsterdam, 346 pp.
- van Rijn, J., Y. Tal and H. J. Schreier (2006) Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacult. Eng.*, 34: 364-376
- Ziemann, D. A., W. A. Walsh, E. G. Saphore and K. Fulton-Bennett (1992) A survey of water quality characteristics of effluents from Hawaiian aquaculture facilities. *J. World Aquacult. Soc.*, 23: 180-191.

Effect of Stocking Density, Substrates and Water Exchange Rate on White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture

Ming-Hua Yang¹, Jin-Hua Cheng^{1*}, Hoa-Ling Kang¹, I-Ming Chen² and Tzyy-Ing Chen¹

¹Tungkang Biotechnology Research Center, Fisheries Research Institute

²Department of Marine Biotechnology and Resources, National Sun Yat-sen University

ABSTRACT

This study aimed to find the best zero-exchange culture model for white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Shrimps were cultured in FRP tanks (2 m × 2 m × 1 m), and organic particles were suspended by strong aeration. The following three experiments were conducted: (1) substrate: net-liners, net-pockets, mats, coral granules and blank control; (2) density: 100, 200, 300 and 400 ind./m²; and (3) zero-exchange water and exchange water (35% ponds of water / week).

Shrimps cultured in tanks with net-pockets exhibited the highest yield and average weight gain and the best FCE, while net-liners isolated the highest amount of suspending particles. The average weight gain of the shrimps was decreased as the stocking density was increased; furthermore, they grew more slowly when the density was in excess of 200 ind./m². Orthophosphate phosphorous concentrations of the zero-exchange system were significantly higher than those of the exchange system. The inorganic nitrogen compounds were all at safe levels. When compared with those of the exchange system, survival, average weight gain and FCR did not differ between the two treatments; however, the yield was higher in the zero-exchange system.

In conclusion, shrimps cultured in a zero-exchange system with a density of 200 ind./m² and a substrate of net-pockets produced the highest yield.

Key words: density, substrate, white shrimp, zero-exchange water

*Correspondence: Tungkang Biotechnology Research Center, Fisheries Research Institute, Pingtung 928, Taiwan, TEL: (08) 832-4121 ext. 205; Fax: (08) 832-0234; E-mail: jhcheng@mail.tfrin.gov.tw