

不同魚隻放養密度對於魚菜共生系統的影響

鍾永廷、黃德威、劉恩良、楊順德

水產試驗所淡水繁養殖研究中心

前言

魚菜共生系統 (aquaponics) 是符合循環農業經濟精神的複合式農漁生產技術，主要的大架構是將水產養殖動物的排泄物，經微生物轉化代謝後，將其中的氮氮以亞硝化、硝化作用轉變成硝酸鹽，再將水體導入植床，利用水培的方式種植蔬菜。硝酸鹽是蔬菜相當重要的肥份之一，富含硝酸鹽的水體經植物吸收、淨化後，再導回養殖池中循環利用，即是所謂的養殖水耕系統。就水產養殖而言，放養密度被認為是影響魚隻成長、飼料利用率和產量等的重要因子，以整體經濟價值來說，若能找到最適合的養殖密度除有助於魚菜共生系統的穩定運作，並可使養殖物和植栽作物的生產量能合理提高。本中心竹北試驗場以小型魚菜系統為模式

(圖 1)，以 20、30、40 kg/m³ (n = 2) 之密度養殖雜交種吳郭魚 (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*)，同時於各組系統中種植 100 株皇宮菜，探討水質變化、蔬菜收穫、養殖動物的成長，並將試驗結果與相關文獻進行整理比較 (表 1)。

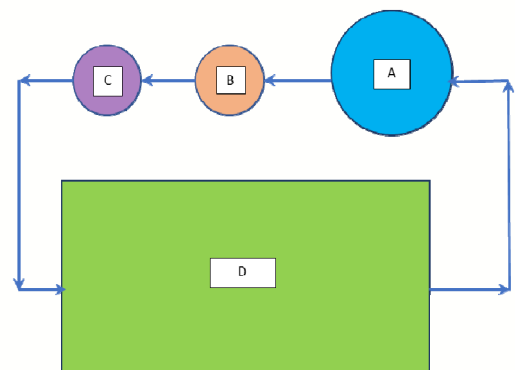


圖 1 魚菜共生系統示意圖。養殖桶 500 L(A)，沉澱槽 120 L(B)，硝化槽 200 L(C)，植栽床 2.88 m²(D)

表 1 魚菜共生系統放養不同密度魚隻的文獻比較

養殖魚種	栽種蔬菜	放養密度 (kg/m ³)	養殖桶體積 (L)	文獻
鯉魚	菊苣、萵苣、瑞士甜菜	2.5, 4.6	500	Maucieri et al., 2019
尼羅吳郭魚	蘿菜、萵苣、粉美人蕉	6, 12	1,000	Trang et al., 2017
尼羅吳郭魚	皇宮菜	0.15, 0.25, 0.35, 0.45	300	Rayhan et al., 2018
鯽魚	菠菜	0.09, 0.12, 0.15, 0.18	20	Amruta et al., 2013
錦鯉	菠菜、甜菜	1.4, 2.1, 2.8	120	Hussain et al., 2014
雜交吳郭魚	皇宮菜	20, 30, 40	500	本研究



溶氧

20、30、40 kg/m³ 等三個放養密度組的溶氧範圍為 5.8—6.2 mg/L，組間差異不大 (表 2)。Losordo 等 (1999) 研究結果指出，要達到最佳的硝化作用，溶氧需達 2.0 mg/L 以上，本實驗溶氧的範圍皆在建議的標準值內。Maucieri 等 (2019) 以低密度 aquaponics low stocking density (APL) 2.5 kg/m³ 高密度 aquaponics high stocking density (APH) 4.6 kg/m³ 於魚菜系統中養殖鯉魚 (*Cyprinus carpio*)，發現在 APH 中因養殖密度較高，有時溶氧甚至小於 2.0 mg/L，因此不管種植何種蔬菜，其硝酸鹽濃度皆低於 APL。本實驗與其他文獻在養殖密度相對較高的組別，其溶氧都未低於 2.0 mg/L。影響溶氧的因素很多，包括魚隻的重量，養殖水體的體積等，另外水中殘留的餌料及有機物會使微生物滋長，造成耗氧增加。因此，如果系統有良好的控管，並在供氧充足情況下，適度增加養殖密度仍可提供優良的硝化環境。

pH 值

本次實驗不論在何種養殖密度，各組間差異不大，pH 值在 6.5—7.3 間 (表 2)。Villaverde 等 (1997) 指出，硝化菌在 pH 5.0—9.0 範圍間，上升 1 個單位的 pH 值可提升硝化效率 13%，但考量到魚菜共生屬於複合式的養殖系統，不只需要考量硝化菌的硝化效率還需配合植物及養殖動物，而植物最適 pH 值範圍為 6.0—6.5，養殖動物則為 7.0—9.0。因此，魚菜共生系統中 pH 值的最適範

圍應在 6.5—7.5 間，本實驗中，不同養殖密度 (20、30、40 kg/m³) 組的每週平均 pH 值為 6.8、6.9、6.7，均符合最適範圍。

氨氮

本實驗期間，氨氮每週平均濃度，以養殖密度 40 kg/m³ 最高，為 0.8 mg/L，20 與 30 kg/m³ 的濃度相近，約為 0.2 mg/L (表 2)。通常循環水養殖系統的氨氮濃度最好低於 1.0 mg/L (Nijhof and Bovendeur, 1990; VanRijn and Rivera, 1990)，過高會導致養殖動物中毒死亡。雖然各組的氨氮平均值未超過 1.0 mg/L，但可發現養殖密度較高的組別 30、40 kg/m³，試驗期間氨氮濃度曾一度達 1.8、1.1 mg/L (表 2)，但經處理後系統的氨氮仍維持正常範圍內，至於其他文獻在不同養殖密度下養殖密度越高，氨氮越易累積 (Hussain et al., 2014; Maucieri et al., 2019)，而須有合適的生物處理系統。亦即，養殖密度過高會增加水質管理的難度，雖然魚菜共生系統中的植物具有除去氨氮的功能，可吸收氨氮當作養分，藉此降低水中氨氮濃度，但如果養殖密度過高，系統的硝化效率不佳，會影響整體系統的平衡。依據本實驗結果，就簡易的系統而言，20 kg/m³ 養殖密度下，系統水中的氨氮濃度最穩定，當然，如適量提高植栽數量和擴增硝化系統，可再提高魚隻的養殖密度。

硝酸鹽

20、30 及 40 kg/m³ 三個放養密度組的硝

酸鹽週平均濃度分別為 23.8、10.4 及 30.3 mg/L (表 2)。養殖動物對於硝酸鹽的耐受性較高，Ebeling 等 (1993) 發現許多魚種的硝酸鹽容忍範圍皆可超過 25.0 mg/L；Graber and Junge (2009) 與 Hu 等 (2015) 則指出硝酸鹽濃度在 150.0—300.0 mg/L 間，對水生動物尚無危害，本實驗期間各組均未超過上述文獻所建議的範圍。而試驗期間發現，不管何種放養密度，硝酸鹽皆有逐漸累積的情況；Hussain 等 (2014) 指出，當養殖密度提高，系統累積的硝酸鹽濃度也會隨之上升；但也有文獻顯示，當養殖密度提高時會影響溶氧使硝化作用效率變差，而導致硝酸鹽濃度偏低 (Maucieri et al., 2019)，若有此種情形發生，需注意其它水質參數 (如溶氧、氨氮和亞硝酸濃度)，以免影響魚隻或植栽。

亞硝酸鹽

文獻顯示，隨著養殖密度的增加，水中氨氮會累積，如果系統的硝化作用不足，亞

硝酸鹽濃度就可能隨之上升，高濃度的亞硝酸鹽 (0.3—1.0 mg/L)，會造成養殖動物血紅素輸送氧氣功能降低，阻礙生理功能 (Jiang et al., 2014)，惟只要換水或強化生物處理，系統仍可正常運作。本試驗中，各組不同養殖密度組的亞硝酸鹽濃度分別為 0.2、0.2、0.3 mg/L/週 (表 2)，其中養殖密度 40 kg/m³ 組的亞硝酸鹽濃度雖較其他二組高，但經換水處理之後，並未持續增加，魚隻也無死亡。

氮、磷營養鹽的去除

本實驗不論在何種養殖密度下，水中的總氮濃度或總磷皆有累積情況 (圖 2)，且在試驗期間都沒下降趨勢，表示這些營養鹽未能被植物所及時有效的利用，換言之，在一般簡易系統中，必須考慮養殖動物密度過高的問題，以免產生的營養鹽供過於求。另外，筆者等人發現該些營養鹽到後期有逐漸平穩的趨勢。推測可能因為初期植栽較小，吸收養分效率較差，因此氮、磷會累積在水體，

表 2 不同魚隻放養密度之系統的水質變化

放 養 密 度	20 kg/m ³		30 kg/m ³		40 kg/m ³	
水質	平均	最低至最高	平均	最低至最高	平均	最低至最高
總氮 (mg/L)	29.4	7.1-38.0	11.5	11.5-38.5	41.5	14.3-52.8
硝酸鹽 (mg/L)	23.8	5.0-32.8	10.4	10.4-32.3	30.3	11.4-41.0
亞硝酸鹽 (mg/L)	0.2	0.0-0.4	0.2	0.2-0.9	0.3	0.1-0.5
氨氮 (mg/L)	0.2	0.1-0.5	0.2	0.2-1.8	0.8	0.3-1.1
鎂 (mg/L)	13.2	11.0-14.6	10.0	10.0-14.8	12.8	10.1-14.7
總磷 (mg/L)	14.3	2.1-26.3	2.8	2.8-27.4	18.3	3.6-29.8
溶氧量 (mg/L)	6.0	5.8-6.1	6.0	5.5-6.1	5.9	5.8-6.1
酸鹼值	6.8	6.7-7.3	6.9	6.3-7.3	6.7	6.5-7.2

而到實驗後期，植栽準備採收時，吸收養分效率較佳，這些營養鹽就不再累積。為了讓避免氮或磷累積，養殖密度的控制極為重要，目前已有許多文獻說明如何增加氮的利用效率，包括：(1)投餵量固定，但增加投餵頻率，以少量多餐的方式投餵，發現魚成長可增加 4.9%、菜收成提高 11% (Liang and Chien, 2013)；(2)作物的選擇，根系越密，硝化作用越佳，氮的利用率越高 (Hu et al., 2015)；(3)額外添加硝化菌 (Zou et al., 2016)；(4)介質的選擇 (Zou et al., 2016)；(5)降低 pH 值 (Zou et al., 2016) 等方式，但對於魚菜共生系統的營養鹽優化控管的研究還是不夠完善，如何增加這些養分的利用率而不導致營養鹽堆積於系統中，還須更多研究來加以論證歸納。

植物收成

本實驗發現，蔬菜的收成與養殖密度彼此間無相關性，但有文獻觀察到魚菜共生系統中，養殖密度低者 (2.5 kg/m^3) 在蔬菜收成上會較養殖密度高 (4.6 kg/m^3) 的組別來的佳 (生菜高出 41%，瑞士甜菜高出 21%)，作者認為養殖密度高時會導致溶氧降低，影響硝化作用，使得硝酸鹽含量較低，而影響蔬菜的收成 (Maucieri et al., 2019)。本實驗則未觀察到此現象，溶氧、硝酸鹽含量在正常範圍內，並未因養殖密度提高而影響收成量，三組間無在統計上無明顯差異 (表 3)。藉此一結果可說明在簡易型魚菜系統中，只要系統運作穩定，即使魚隻的養殖密度較高 在 (40 kg/m^3)，仍會有不錯的蔬菜收成。

魚

本試驗以不同密度養殖吳郭魚，結果顯示各組比生長率 (specific growth rate, SGR) 會隨著養殖密度增加而降低，其中 20 與 40 kg/m^3 組之 SGR 具有統計上的差異。飼料轉換率 (feed conversion ratio, FCR) 則是與養殖密度成正比，且各組間有顯著差異 (表 3)，顯示小系統的放養密度不宜過高，尤其是在家庭式的魚菜共生系統，養殖密度高，魚隻生長較差，且須投餵較多的飼料，相關文獻也提到密度高魚隻會有生長較差情況 (Hussain et al., 2014; Zahir Rayhan et al., 2018; Maucieri et al., 2019)。Hussain 等 (2014) 以 1.4 、 2.1 、 2.8 kg/m^3 進行錦鯉養殖試驗，結果顯示，放養密度越高，SGR 就越

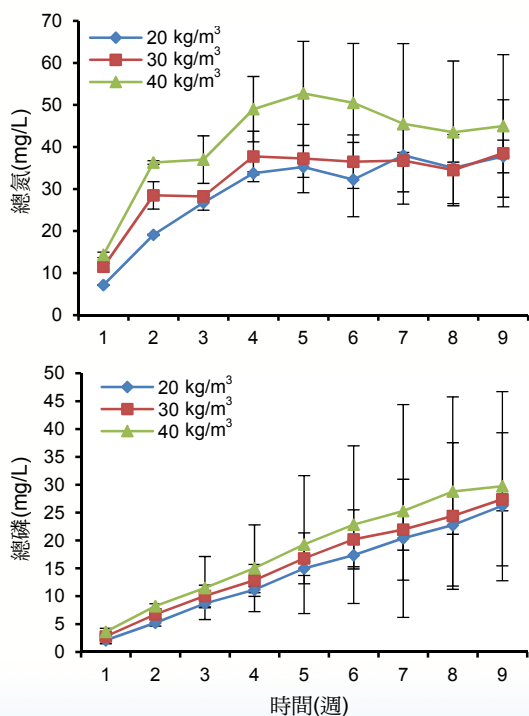


圖 2 不同放養密度下每週水中總氮與總磷變化

低；Rayhan 等 (2018) 比較不同養殖密度之尼羅吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*) 在增重、體長與 SGR 之情形，結果都是密度最低組別較佳；Maucieri 等 (2019) 研究也顯示，養殖密度低則 SGR 較高。在 FCR 方面，大多文獻認為不同養殖密度下，各組間都無顯著差異 (Hussain et al., 2014; Zahir Rayhan et al., 2018; Maucieri et al., 2019)。在考量到經濟效益，雖然低密度養殖生長較佳，但高密度魚隻數量較多，會影響到整體的生物量 (biomass)，因此除了考量魚隻的生長外，若要獲得最大收益，整體的生物量也不可忽略。但在簡易型魚菜共生系統中，養殖密度高會有水中的溶氧降低、水質變差、魚個體間容易碰撞造成損傷、環境緊迫、彼此間競爭搶食等問題，進而影響池魚的生長，增加管理的困難度。另外，依據 FAO (2014) 建議，小型魚菜系統中，每 1 噸水可放養 20 kg 的魚，栽種 4 m² 的蔬菜。與這些文獻相比，本試驗放養密度偏高，但系統仍可正常運作，魚隻也無大量死亡。不同的研究為何有如此的差異，推測是因各系統不同、養殖魚

種與魚隻大小差異以及實驗時間長短等因素造成。因此，應依據系統調整放養密度，以達到最合適的養殖條件。

結語

本實驗在魚菜共生系統中以不同密度 20、30、40 kg/m³ 放養吳郭魚，並種植皇宮菜，觀察系統中水質變化、吳郭魚的生長情況及皇宮菜的收成量，綜合本研究及以往文獻結果，養殖密度須適當，密度過高不但影響魚的生長，也會導致水質變差，氨氮、亞硝酸的濃度增加，且容易累積水中營養鹽。依據 FAO 建議，在循環式小型魚菜共生系統，養殖桶 1 噸水放養 20 kg 的魚，栽種 4 m² 的蔬菜，本實驗的放養密度相對較高，雖然魚隻沒有大量死亡，但有發現氮、磷累積於水中 (圖 2)，且魚隻的生長也被影響，但由於不同研究的系統設置不盡相同，因此，須依照各系統情況來調整養殖密度和植栽床面積，本實驗數據可提供魚菜共生的愛好者一些參考依據。

表 3 不同放養密度對於吳郭魚的生長情況及蔬菜收成狀況

放 養 密 度	20 kg/m ³	30 kg/m ³	40 kg/m ³
平均隻數	49	71	93
平均初重 (g)	204.5±6.3	211.7±8.0	214.4±8.6
平均末重 (g)	238.6±2.0 ^a	228.7±13.9	222.6±7.9
平均增重 (g)	34.1±4.4 ^a	17.0±5.9 ^{ab}	8.2±0.7 ^b
平均增重率 (%)	14.3±1.9 ^a	7.4±2.1 ^{ab}	3.7±0.4 ^b
飼料投餵量 (g)	4031±325	3708±1003	2546±292
飼料轉換率 (FCR)	2.4±0.2 ^a	3.1±0.1 ^a	3.3 ^b
比生長率 (SGR, %)	0.5±0.1 ^a	0.2±0.1 ^{ab}	0.1 ^b
菜收穫量 (kg)	7.4	4.9	10.1

不同上標符號標記具有顯著差異 ($p < 0.05$)