

綠牆植物於魚菜共生系統中水質淨化能力比較

陳 琛¹⁾ 吳 振 發²⁾

關鍵字：魚菜共生、綠牆、綠牆植物、氮循環

摘要：魚菜共生系統已被廣泛應用於蔬菜生產、魚類養殖，以及生態、園藝、魚菜共生觀念之推廣。然而，魚菜共生系統與景觀設計之結合，仍未有相關研究進行深入探討。本研究嘗試整合魚菜共生系統與綠牆，目的在於瞭解綠牆植物去氮能力。本研究於中興大學溫室內建立魚與綠牆植物共生系統，選定長壽花、麗格海棠和非洲堇進行試驗，結果發現麗格海棠較不適合垂直滴流式魚菜共生系統，生長差且死亡率較高，長壽花與非洲堇對於導電度、總固體濃度及鹽度數值下降具有正面效益，另外由水中氫離子、氨氮與硝酸鹽氮濃度變化情形，發現此二系統可構成完整的氮循環系統，並進行循環。本研究亦發現大氣溫度、濕度、水中藻類皆可能影響魚與植物系統之穩定性，而給魚飼料量的多寡，可能影響魚的生長及其產生的氮量，對於系統具有間接的影響。整體而言，魚與綠牆植物的結合系統，具有一定的美觀價值與穩定性，但仍需要維護管理工作，才能維持系統之穩定性。

前 言

近年來國內外有不少魚菜共生相關產品、技術等研究與成果，應用於健康飲食的開發與推廣，而魚菜共生除了運用於農業生產，在環境上亦可減少水中營養負荷量 (Zhang *et al.*, 2014)。運用植物處理系統改善水質，不僅具有低成本、減低環境破壞等優點，已被廣泛作為控制水中營養物質造成污染的一種方法(Li *et al.*, 2015)，而水生植物吸收營養物質之作用過程，如同魚菜共生中蔬菜吸收魚排放之廢棄物。

李健全(2015)指出在學術上養魚和種菜是兩個截然不同的系統，分屬於水產養殖 (Aquaculture)和園藝學(Horticulture)兩門學問，對科學家而言，跨領域的整合，可藉由水的串聯讓魚和菜形成生態學上的互補與共榮。魚與菜的共生方式大多數人都能清楚掌握，但

1) 國立中興大學園藝學系碩士班學生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

是如果只考量「水」在水產養殖與園藝兩個系統的串聯，那只會停留在「組合」(Combination)的方式。進一步思考「能量」在兩系統中的轉換與平衡，探討不同動植物組合的搭配、水質的交換、能量轉移、光照條件、生物需求等參數(Parameter)的最適合組合，將是系統整合(System integration)的方式，這是「魚菜共生」(Aquaponics)提升成為一門專業科學的必要條件。魚菜共生不應侷限在農產養殖業的產出，它也可以是綠牆植物及觀賞魚的組合方式。在都市人口密集的環境當中，可以運用循環系統的省水、節能等優勢，結合綠牆立體栽培，省空間、增加視覺焦點等都市綠美化效果，以達到環境的改善，提升人類生活品質。綜合上述，本研究目的在於瞭解綠牆植物於魚菜共生系統中的去氮能力。

前人研究

魚菜共生是水產養殖以及水耕栽培，兩種類型的技術結合，學者張亮祖(2002)在設施生產自動化技術對養液栽培之應用技術有提及養液栽培系統的基本需求，本研究藉此技術整理出對魚菜共生系統的基本需求，分別有植物體的固持、根的覆蓋、養魚水灌溉系統的分佈、根部通氣和環境條件等。而魚菜共生以水做為主要輸送養分媒介，是以水耕栽培結合水產養殖發展出的一套整合系統，本研究參考水耕栽培所需之系統設備，不使用土壤(無土栽培)，藉由其他材質代替土壤固持、保水和保肥之功能，並且採取適當的設施進行魚菜共生，才能確保系統之共生效益。無論系統為哪一種形式，設置於溫室栽培，才能確保植物有良好的生長環境，一般而言系統包含有植生槽、養魚槽、輸送設施、監控管理、溫室。而魚菜共生系統的氮循環運作，是魚跟菜在一個半封閉的循環系統中運作的氮循環，也就是有魚(動物)、菜(植物)、水、硝化菌(微生物)進行循環的循環系統(城田魚菜共生健康農場，2015)。而在循環的過程中，魚所排出的排泄物便是植物所不可或缺的氮肥，普遍魚菜共生系統來說，以食量大(排泄物多)、好養殖的魚為選擇的首要條件，類型大致可以分為食用魚及觀賞魚兩類(城田魚菜共生健康農場，2015)，臺灣常見養殖魚種包含鯉魚、金魚、吳郭魚、加州鱸等，而國外則是吳郭魚、鮫魚、錦鯉、金魚、淡水蝦等種類(王獻堂、水水團隊，2015)。

魚菜共生系統是由水產養植結合水耕栽培組成的整合系統，以水作為輸送養分之媒介，將魚排放之廢棄物轉化成養分，提供給植物吸收利用，本研究探討魚菜共生循環原理，將透過水耕栽培方式，用以解釋魚菜共生循環原理。水耕(Water culture 或 Hydroponics)又稱養液栽培(Nutriculture)，由於不需用土壤，故又稱無土栽培(Soilless culture)，無土栽培顧名思義是一種不需要土壤作為栽培介質來栽種植物的栽培方式。無土栽培可以依照栽培介質固形狀之有無分成兩種，分別是固形介質栽培方式及非固形介質栽培方式。一般常用之固形介質有砂、石礫、稻殼、炭化稻殼、發泡海棉、蛭石、珍珠石、發泡煉石、化學合成纖維、泥炭土苔、木屑、樹皮、果殼纖維、岩棉及不織布等等。非固形介質栽培方式則

可依養液之供給方式及栽培床中殘留養液之多寡分類之。若栽培床中殘餘量通常為 8-15 公分日稱為湛水式，反之僅餘 1-3 公分者稱之淺水式；若依供液方式之別則可細分成流灌式、噴灌及流灌混合式等四種。又在噴灌方式中養液若以霧狀方式噴出時，又稱之噴霧耕。進一步地若依養液之回收與否，又可分成養液循環式及非循環式二種。一般而言，無土栽培用的養液組成元素主要分為兩大類，分別是大量元素(Macronutrients)及微量元素(Micronutrients)，總共有 16 種必需之營養元素，大量元素包含氫(H)、碳(C)、氧(O)、氮(N)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、磷(P)、硫(S)，微量元素則是氯(Cl)、硼(B)、鐵(Fe)、錳(Mn)、鋅(Zn)、銅(Cu)、鉬(Mo)。其中，由空氣中可以吸收 CO₂ 及 O₂，由根部吸收 H₂O 及溶於水或介質的其他必需元素。本研究參考設施生產自動化技術中所提對大多數高等植物中之必需元素之適宜濃度及相關性質所整理的表格，發現大量元素及微量元素都有有效型態等相關性質之固定用量，本研究所要探討方向有關於植物去氮之能力，參照表格，將進行氮元素 NH₄⁺ 及 NO₃⁻ 兩種氮元素型態作為魚菜共生系統營養成份之探討。

氮(N)和磷(P)已被證實於水質環境是需要被減輕的兩個主要營養素，過度人為排放富營養化水體是會讓藻類大量繁殖和擴散的主要原因，水中富含營養成份造成有害藻類大量繁殖不僅威脅到飲用水安全，也會對世界各地的水環境生態完整性及社會經濟發展的可持續性造成威脅。由於，運用植物處理系統改善水質，不僅具有低成本、減低環境破壞等優點，氮肥是植物生長所需之養分，已被廣泛作為控制水中營養物質造成污染的一種方法。因此，運用氮循環原理之魚菜共生系統不僅為人類帶來作物穩定產量，提供植物生長所需氮肥，且提升環境淨化。

參考臺南區農業改良場(2016)魚菜共生系統原理與實作，其說明魚菜共生主要的水質參數項目，分別是溶氧量、pH 值、水溫及總氮，由於水質的參數與魚，還有植物的生長情況息息相關，有效控制適合魚與植物共生的水質參數，將能夠讓魚與植物共生去得平衡，發揮系統管理最大效益。由於溶氧量過低會導致魚類在數小時內死亡，因此，可以利用打氣或是沉水馬達讓水產生流動，增加水中的溶氧量。另參考行政院環境保護署水質標準河川污染指數 River Pollution Index，簡稱 RPI，水質溶氧量濃度大於 6.5ppm，則符合生物生存未受污染水質溶氧量濃度。pH 值會影響作物吸收養分的能力，而 pH 值介於 6.0~6.5 之間是養分均能被充分吸收的範圍。當 pH 值在 6.0 以下會降低硝化菌在水中的活力，而且會影響其在氮循環當中的效率。因此，魚菜共生系統水質的 pH 值在 6.0~7.0 為最佳值，如果高於 8 或是低於 5，都會對系統作用產生問題。水溫會影響整個系統的運作效能，而水溫建議控制在 18~30°C 溫度範圍，對魚類、植物、菌來說是可以接受的範圍。不同的魚與植物的組合搭配會需要不同的適合溫度範圍，建議應選擇適合當地環境生長之魚與植物，更適合運用在魚菜共生系統。魚菜共生水中的氨氮主要來自魚的排泄物及微生物分解有機氮化物所產生。水中含過量的氨氮對魚類有毒害，而硝酸鹽對魚類的毒性較低，若硝酸鹽濃度過高，則需進行換水，以降低硝酸鹽濃度。此外，近年水耕栽培相關研究成果顯示，養液生產技術有許多優點，優點包含(1)縮短作物期，植物生長穩定；(2)週期性工業化生

產；(3)無農藥污染，養分快速吸收；(4)避免土壤病蟲害；(5)節省人力；(6)栽培植物品質提升；(7)不懼農村高齡化(高德錚，1986)。由於魚菜共生尚未普及被使用，有些成本考量、技術及植物種類等受到限制，因此，還有可以調整並改善的空間。

材料與方法

一、材料

本研究魚菜共生與綠牆整合系統，採用垂直滴流式(Vertical Farming)，其構成主要是將植生槽固定於牆面上，養魚池設置在植生槽下方，運用沉水馬達將水輸送至植生槽上方，再垂直滴入植生槽，回收至養魚池。此系統能有效節省空間、綠化環境，也可以種植具有淨化空氣作用的植物，如設置於室內，建議種植耐水、耐陰性植物，確保植物適應環境之能力。本研究試驗進行之前，將植物、魚(朱文錦)前處理，儀器校正測試等準備工作。試驗的綠牆為 PP 材質系統，以便試驗過程中觀察需做拆解組裝等問題，搭配市面上好購得普力桶及 PE 水管作使用。將網格以鐵架撐起並固定，普力桶置於網格下方，將 PE 管打洞，連接上控制閥、6 吋黑色 PE 軟管及沉水馬達型號 1100 建立之輸送設施固定於網格上方，最後，放上植生槽包含發泡煉石，即完成基本系統建立，以上系統建立，包含朱文錦放養於系統 30 公升普力桶中製造養液部分，皆為本研究試驗過程中控制變項。

(一) 植物選擇

根據行政院環境保護署空保處計畫架設的網站，公佈 50 種建議之室內淨化植物，從中選出 3 種可能適用於本研究試驗之植物，希望透過室內淨化植物結合魚菜共生系統栽培，為觀賞植物之應用帶來更多效益。本研究選擇試驗植物分別為長壽花、麗格海棠、非洲堇，3 種植物分別為燈籠草屬、秋海棠屬、非洲堇屬，肉質多年生草本，維護管理容易，可由扦插繁殖。本研究將探討 3 種觀賞植物適應魚菜共生系統及氮去除之能力，並且達到魚菜共生平衡狀態，利用魚菜共生系統幫助景觀設計發揮更大效益。本研究試驗植物均於試驗前進行前處理根部的馴化，試驗進行的過程中有 3 組植物 3 重複，總共 9 組，一組包含 6 株植物，由植生槽之間距及株高作數量分配，由於本研究須進行植物生物量、硝酸態氮等項目進行調查並做紀錄，礙於系統植物須固定數量進行水質參數檢測，每組中取其中 1 株植物進行試驗前調查項目，試驗結束後再由各組當中選出狀況最良好的其中一株植物進行試驗後調查項目，試驗前取長壽花、麗格海棠、非洲堇，各 3 株，總共 9 株，試驗後則再取長壽花、麗格海棠、非洲堇，各 3 株，總共 9 株進行植物總氮等調查項目。

(二) 魚類選擇

根據城田魚菜共生健康農場建議，朱文錦作為觀賞魚雖說外表不全然完美，但擁有豐富色澤，養殖難易度低，適合水溫範圍廣泛(12°C~33°C)等條件。本研究主要探討魚菜共生系統中植物之去氮能力，本研究經網站查詢得知一套魚缸容量魚之生存密度計算方法，

(http://www.easyatm.com.tw/calculate_d1.html) 24 公升水容量環境適合 16 隻 5 公分以下魚類生存，本研究以 16 隻朱文錦作為一組系統基礎魚之數量。

(三) 環境控制

本研究放養朱文錦之水質來源為國立中興大學溫室地下水，由第 0 週進行水質參數檢測，作為試驗水質基準。地下水的水質有助於養水，由於地下水未經過處理，試驗前需添加硝化菌液、穩定劑使水質於系統中養魚更加穩定。另朱文錦放養前於每組系統各添加 5 mL 硝化菌液及 5 mL 穩定劑，讓朱文錦能加快適應系統環境，試驗期間不再添加地下水及任何硝化菌液，由於系統運作水分蒸發乃自然現象，研究過程中皆統一進行補水，視水分流失狀況，每組系統皆補充相同量之去離子水(Deionized water)。本研究朱文錦為人所養殖，試驗過程中，餵食需按照固定時間、固定份量，養魚初期必須先讓水質達到穩定，以少量餵食循序漸進，由於本研究欲觀察植物氮去除之能力，飼料為控制變項，本試驗以第一次餵食，朱文錦於 5 分鐘內進食完全為本試驗固定餵食份量，份量以 16 隻朱文錦，每隻 3 顆浮上性(小粒)飼料之份量計，進行觀察朱文錦於系統中適應之能力。本研究將進行 3 種綠牆植物分別運用在魚菜共生系統去氮能力之探討，調查項目數據將作為研究結果之依據。為了讓試驗結果更為精確，本研究試驗將由 3 組植物，分別以 3 重複進行調查紀錄。

二、方法

試驗目的主要是為了觀察 3 種植物分別於系統生長發育之影響以及比較 3 種植物分別於系統去氮能力，以評估植物與朱文錦共生適宜性。根據文獻回顧(Zhen Hu *et al.*, 2015)，本研究植物將被控制在相同的環境管理，並且提供相同的營養成份。由於 3 種不同的植物為不同屬性，本研究將以後續試驗紀錄，水質參數、氮元素濃度、植物生物量及魚生物量數據，作為觀察試驗進行過程及植物分別前後之對照，進行觀察 3 種植物分別在系統生長發育之影響。將觀察並且記錄 3 種植物分別在系統生長發育之影響後，依照觀察 3 種觀賞植物之紀錄數據，取 3 重複之平均，進行 3 組不同系統比較，比較 3 種植物分別在系統之變化及去氮能力，以評估植物與朱文錦共生適宜性，讓系統達到最佳平衡狀態。

試驗始於 2016 年 3 月 9 日(第 0 週)進行第 1 次水質參數檢測，以此次參數作為水質參數的基準，後續試驗將於每週三進行水質參數檢測(圖 1)。每組系統朱文錦隻數以 16 隻為一組，總共 9 組，測得重量、長度之後，分組分別於系統中養殖，觀察水中魚排放氮以及氮轉變的過程(前測)，為期 2 週，總共 17 天。試驗期間於 2016 年 3 月 26 日(第 2 週)，將前處理植物分組移入系統之中，前處理植物以 6 株為一組，3 種植物 3 重複，總共 9 組，移入前每組各取 1 株進行植體生物量，為期 5 週，總共 33 天。試驗止於 2016 年 4 月 27 日(第 7 週)，進行最後一次水質參數檢測，植物選擇位於系統內供水最穩定位置植物，測量生物量(Su Shiung Lam *et al.*, 2015)。試驗共為期 50 天。

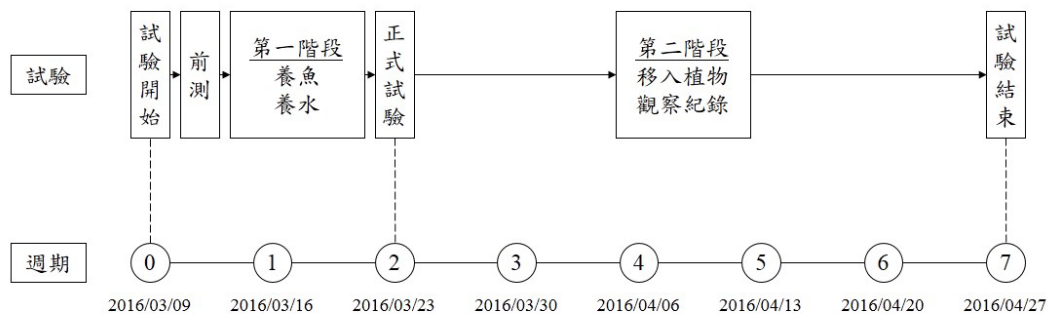


圖 1. 試驗流程示意圖

Fig 1. Schematic view of experiment process.

試驗場地選在溫室內，試驗進行過程中，系統需要被監控進行人為的管理。為了降低數據誤差的機率，必須將試驗設置於溫室，將環境變因控制在差距較小的範圍。本研究試驗進行監控管理，設至於溫室，可避免外力因素干擾，由於溫室仍屬於半戶外空間，溫度會隨著氣候有所變化，而濕度也會因溫度等因素隨之改變，採用用溫、濕度儀進行每週固定時段溫濕度之紀錄，春季氣候變化大，紀錄溫度大約在 20°C~30°C 之間，濕度隨溫度升高而下降，變化有規律。水溫受到環境溫度變化之影響，水溫隨溫度變化而改變，由於水體具有調節溫度之功用，經溫度變化影響，水溫仍維持恆定的溫度變化。試驗過程中，系統皆採用相同的監控管理。此外，運用 YSI 攜帶型多功能水質分析儀(型號:556)進行水質參數紀錄，以 YSI 水質分析儀顯示數據為試驗主要依據，每次儀器測量前須進行校正，以確保數據之精確度。YSI 攜帶型多功能水質分析儀操作方式淺顯易懂，以物理分析方式測得水質參數，正常使用之下，不易有人為誤差。試驗期間測量溶氧量平均達 5ppm 以上，則不至影響生物所需溶氧量濃度。

本研究系統建立之材料、方法及設施使用均為統一一致，流水時間以一小時為一個循環，每一個循環流水 15 分鐘停止 45 分鐘，流水速率經人工測試評估，流水速率 24 公升/小時，以統一且植生槽維持濕潤為原則澆灌水耕植物。每一組系統包含 16 隻朱文錦，投食食量以第一次投食量為後續固定食量之依據，紀錄試驗前後重量、身長作為後續探討對照。每一組系統 6 株植物為一組，本研究移入系統中試驗 1 重複包含 5 株植物進行試驗，其中 1 株於試驗前進行分析，植物移入系統前後都各取 1 株植物進行植體生物量分析。本研究試驗由第 0 週至第 7 週，進行 8 次定期水質參數、氨氮及硝酸鹽氮等項目調查，試驗前後各進行一次植體生長狀況調查，作為後續評估生育狀況之依據。本研究試驗將於第 0 週進行第 1 次調查，調查結束，將朱文錦移入魚缸，水質以此週數據為基準接續試驗，第 1、2 週則是觀察朱文錦適應狀況及氮循環效率，而移入植物之後續幾週則為本研究試驗主要目的，觀察不同綠牆植物去氮能力。

(一) 調查項目

本研究試驗之調查項目，分別有水溫 $^{\circ}\text{C}$ 、導電度 mS/cm 、總固體濃度 ppm 、鹽度 psu 、實際溶氧量 ppm 、 pH 值、 PHmV 值、氧化還原值、氮氣和硝酸鹽氮。

(二) 分析方法

運用 Microsoft Excel 製作資料分析表，將試驗重複之數據取平均值，並整理成折線圖，用以進行描述性統計說明試驗結果。

(三) 研究限制

本研究試驗欲減少數據結果之誤差，將試驗設置於溫室進行管理，並進行同步處理，運用最效率方式調查項目，朱文錦定食定量、補水定量，每日照顧希望避免重複之間差距過大。在試驗過程中，依然有些限制，分別有養液成份、藻類孳生、病蟲害及硝化菌。綠牆植物與蔬菜類最大的差別在於綠牆植物是長期作物，而蔬菜類則是短期作物，藻類孳生以及病蟲害在水耕方面在所難免，由於短期作物經採收之後，可以將系統整理處理，而長期作物較為不易，將需要更加細心照顧系統。

結果與討論

一、魚菜共生系統水質參數試驗結果

(一) 環境因素對水溫、水量之影響

本研究試驗地點位處於中興大學溫室之中，主要光源為自然光，溫、濕度隨環境變化而有所改變，系統中水質溫度及水量受到環境影響，故水溫隨著月份增加、氣溫回暖，呈現逐漸上升的趨勢，其中第二周期間為寒流期間，因此水溫下降至 20°C 以下。同時，氣候變熱導致蒸散速率提升，實驗水桶內的水量有明顯減少的趨勢。本研究試驗過程中，第 0 週至第 2 週養殖朱文錦水量緩慢下降，第 3 週起水量持續下降，由於長壽花、麗格海棠及非洲堇三組為不同屬性植物，三組系統當中出現不同變化，長壽花與麗格海棠兩組魚菜共生系統水量下降情形幾乎一致，而非洲堇魚菜共生系統則是相當緩慢。隨試驗時間推移，養殖槽中的水量均有逐漸減少的趨勢，於第 3 週移入植物後養殖槽水量皆減少或是沒有增加，這可能是除了養殖槽表面水蒸發以外，植物的蒸散與吸收作用所導致(圖 2)。

(二) 水中營養鹽濃度變化

第 0 週至第 7 週分析結果觀察得知，由於第 0 週至第 2 週為系統的前測，系統當中僅養殖朱文錦飼，養殖朱文錦使水質的導電度逐漸上升，可能是魚的分泌與排泄物使水質的電解質增加，長壽花、麗格海棠及非洲堇三組魚菜共生系統的導電度、總固體濃度及鹽度皆於第 0 週至第 2 週呈現逐漸上升的趨勢，於試驗第 3 週至第 7 週將植物移入系統後，由於植物開始吸收養殖水內的營養元素使導電度、總固體濃度及鹽度均下降(圖 3)。本研究測得植物可能在系統中進行氮肥的吸收，是主要消耗氮肥各式型態的主要原因。導電度、總固體濃度及鹽度變化之程度分別是長壽花最明顯、其次麗格海棠、最後非洲堇。

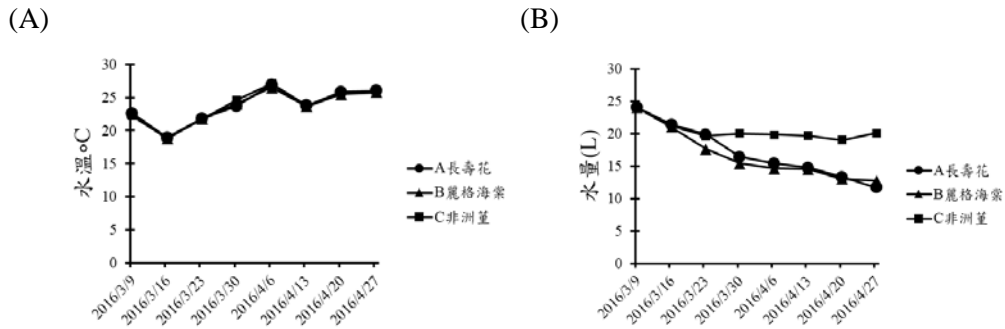


圖 2. 第 0 週至第 7 週水溫 $^{\circ}\text{C}$ 及水量(L)變化，(A) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組水溫 (B) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組水量

Fig. 2. Temperature $^{\circ}\text{C}$ and amount of water (L) changes in week 0 to week 7, (A) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia \times hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* temperature (B) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia \times hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* amount of water.

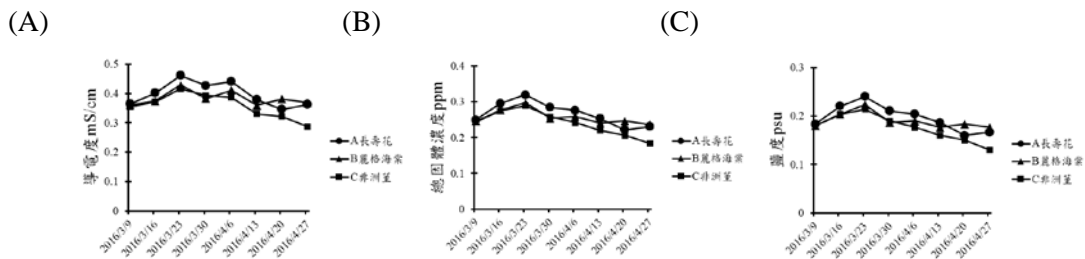


圖 3. 第 0 週至第 7 週導電度 mS/cm、總固體濃度 ppm 及鹽度 psu 變化情形 (A) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組導電度(B) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組總固體濃度 (C) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組鹽度

Fig. 3. conductivity mS / cm, a total solids concentration ppm and salinity psu circumstances changes in week 0 to week 7 (A) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia \times hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* conductivity mS / cm (B) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia \times hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* a total solids concentration (C) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia \times hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* salinity.

(三) 水中氫離子濃度變化

經第 0 週至第 7 週之觀察得知，由於朱文錦養殖於系統當中，長壽花、麗格海棠及非洲堇三組魚菜共生系統之 pH 值於第 0 週至第 2 週水質呈中性(pH7)，說明大部分朱文錦適應環境已被馴化，PHmV 值則是呈現下降的趨勢，說明 H⁺離子可能已被氮化而形成氨氮 NH₄⁺(圖 4)。第 3 週至第 7 週分別移入長壽花、麗格海棠及非洲堇三組植物，水質 pH 值逐漸呈鹼性(pH8 以上)情況，由於三組植物一致出現相同的現象，很可能是受到其他因素的影響，其他因素可能包含了溫度變化、植物及生物生理、菌的硝化作用等，皆可能對水質 pH 值造成影響。由於本研究試驗期間，長壽花、麗格海棠及非洲堇三組氧化還原值(ORP)均呈現正數，故可證實試驗期間均有氧化作用(硝化作用)進行。試驗觀察 pH 值、PHmV 值及 ORP 之結果，可說明系統之中有氮循環進行中。而 2016 年 4 月 13 日之數值明顯與前後兩週有所差異，可能是當日儀器校正疏失導致誤差，該次數值不列入分析及討論。

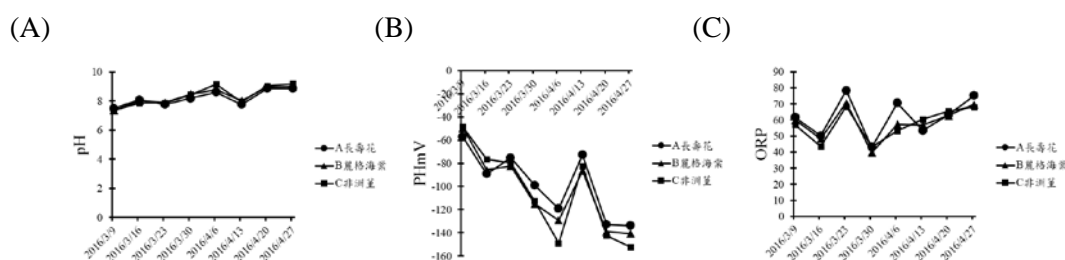


圖 4. 第 0 週至第 7 週 pH 值、PHmV 值及氧化還原值變化情形 (A) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組 pH 值(B) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組 PHmV 值 (C) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組 ORP

Fig. 4. pH value, PHmV value and ORP value circumstances changes in week 0 to week 7 (A) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia x hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* pH value (B) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia x hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* PHmV value (C) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia x hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* ORP value.

(四) 水中氨氮與硝酸鹽氮濃度變化

本研究主要探討三種綠牆植物對氮去除之能力，也就是植物對氮吸收的能力，故針對植體所吸收之氮肥型態，以氨氮 NH₄⁺與硝酸鹽氮 NO₃⁻-N 兩種氮的型態做為本研究主要分析項目，分別進行氨氮與硝酸鹽氮檢測。

長壽花、麗格海棠及非洲堇三組魚菜共生系統在第 0 週至第 2 週養殖朱文錦於系統中，水中的氨氮濃度有逐漸上升的趨勢，於第 3 週移入植物之後，氨氮瞬間轉為下降，後幾週氨氮濃度趨近於 0ppm。另一方面，第 0 週至第 2 週，水中的硝酸鹽氮濃度逐漸緩慢上升，於第 3 週分別移入長壽花、麗格海棠及非洲堇三組植物，加快硝酸鹽氮上升趨勢，第 4 週後硝酸鹽氮逐漸下降，試驗後期長壽花、非洲堇兩組硝酸鹽氮趨近於 0ppm，麗格海棠組於第 6 週後有恢復上升的趨勢。以長壽花、麗格海棠及非洲堇三組魚菜共生系統之氨氮與硝酸鹽氮折線圖之變化進行比照，從圖 5 觀察可得知於第 0 週至第 2 週氨氮與硝酸鹽氮濃度均有上升趨勢，於第 3 週氨氮明顯下降，於第 4 週硝酸鹽氮逐漸下降，由此得知植物移入系統後，植物是消耗掉氮各式型態的主要因素，首先是氨氮 NH_4^+ 被植物吸收，相隔一週後硝酸鹽氮 NO_3^- -N 才被植物吸收，根據本研究資料，目前能證實植物可能是吸收水中氮的主要因素，也是淨化水質的主要助力。

臺南場農業改良場的研究指出建議在一個平衡的魚菜共生系統中，氮的各式型態濃度維持在 0~1ppm，本研究試驗三組魚菜共生在試驗後期濃度均維持在 0~1ppm 之間，說明三組魚菜共生系統都可能已達成平衡的狀態，證明綠牆植物運用在魚菜共生系統之可能性。

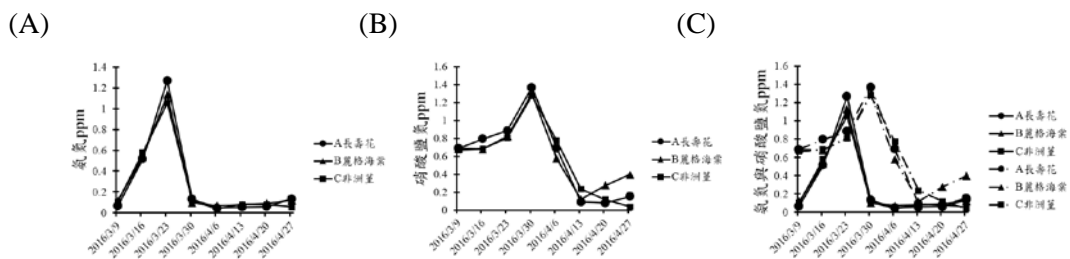


圖 5. 第 0 週至第 7 週水質氨氮 ppm、硝酸鹽氮 ppm 變化情形 (A) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組氨氮 (B) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組硝酸鹽氮(C) 長壽花、麗格海棠及非洲堇三組氨氮與硝酸鹽氮

Fig. 5. Ammonia ppm, Nitrate ppm circumstances changes in week 0 to week 7 (A) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia x hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* ammonia ppm (B) *Kalanchoe blossfeldiana*, *Begonia x hiemalis*, *Saintpaulia ionantha* Nitrate ppm.

二、討論

由水中營養鹽濃度變化、水中氨離子濃度變化及水中氨氮與硝酸鹽氮濃度變化等分析結果發現，魚菜共生系統中明顯有氮循環進行著，整個氮循環的過程主要是由氨化作用以及硝化作用兩個過程在進行作用，氨化作用是經由於的排泄物、飼料殘餌及死亡的動、

植物等透過菌、微生物分解作用產生氨 NH_3 ，氨 NH_3 在水中形成氨氮 NH_4^+ 與 OH^- ，氨氮 NH_4^+ 與 OH^- 同時存在於水中；而硝化作用則是氨化作用產生的 NH_4^+ 經由亞硝化菌 (Nitrosomonas) 嗜氧菌作用產生亞硝酸鹽氮 NO_2^- -N，在由硝化菌 (Nitrobacter) 嗜氧菌作用轉換成硝酸鹽氮 NO_3^- -N 的氧化過程 (<http://www.paludarium.net/>)。

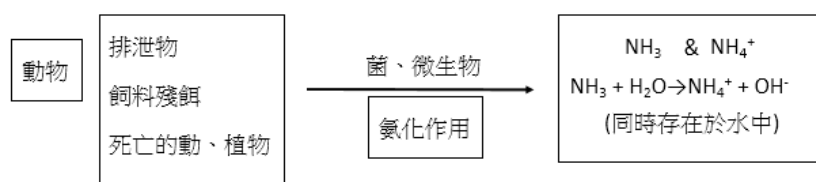


圖 6. 氨化作用示意說明(本研究重新繪製)

Fig. 6. Ammonification schematic illustration (schematic redrawn by the study).

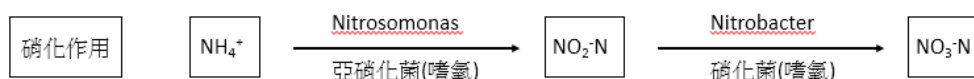


圖 7. 硝化作用示意說明(本研究重新繪製)

Fig. 7. Nitrification schematic illustration (schematic redrawn by the study).

經由水中營養鹽濃度變化及水中氨氮與硝酸鹽氮濃度變化等分析結果得知，在第 3 週將植物移入系統之後，發現植物的加入讓系統作用出現了變化，由於水中營養鹽濃度及氨氮 NH_4^+ 濃度同時出現由上升轉為下降的變化，後續一週硝酸鹽氮 NO_3^- -N 也由上升轉為下降，說明水中的養分經由氮的循環後，產生氮的各式型態大多都接著被植物吸收消耗掉，換句話說，綠牆植物也可能被馴化，而在魚菜共生系統中淨化水質。

而在魚菜共生系統運作的過程中，由於氨化作用氨 NH_3 與水結合之後產生 OH^- ，如未能將環境因素控制合宜，恐導致水質 pH 值出現問題，可能會出現影響植物吸收養分或是菌作用效率等狀況。如圖 4 本研究魚菜共生系統進入試驗後期，圖 4(A) pH 值有逐漸上升的趨勢，可能是水質受到氨化作用影響，而逐漸偏向鹼性，如繼續試驗恐導致問題的產生。後續應查明緣由，方可接續試驗並且防止 pH 值出現酸鹼失衡之狀況，造成系統作業停擺無法維持共生關係。

本研究此次試驗主要分析項目以氮有效型態氨氮 NH_4^+ 以及硝酸鹽氮 NO_3^- -N 為主，未對其他元素進行相關項目分析。由於綠牆植物必須之營養元素不僅是氮元素，還有其他

大量元素以及微量元素，為了讓系統中生存的植物維持健康，勢必需要再添加其他植物所需之元素，前提是適量而不影響魚類生存環境，並取得系統平衡，才能維持良好的共生關係。

結 論 與 建 議

本研究目的主要希望透過試驗觀察幫助探討綠牆植物應用於魚菜共生與綠牆整合系統、綠牆植物魚菜共生系統之去氮能力。針對以上研究目的，藉由進行試驗設計操作，幫助釐清魚菜共生系統循環之原理，並且說明魚菜共生運用於輔助景觀設計之可行性。

主要結論包括環境中的自然因素像是日照、溫度、濕度等，都是影響魚菜共生系統循環過程的重要因素；魚菜共生中的氮循環過程包含兩個主要過程，分別是氨化作用以及硝化作用。魚菜共生水中的氮循環達穩定狀態，水質會呈現穩定值，而魚與植物可以於系統中共生，共生系統中生存的植物能將水中的氮吸收，同時淨化水質，給魚一個乾淨的水環境。根據魚的習性，應提供足夠的飼料，若飼料量不足可能影響魚的生長，進而影響硝酸鹽氮的產生量，提供給植物的養分因而受限。此外，除了系統本身產出氮肥，須視植物生長時所需，適當的提供適合植物之營養元素，而人為監控與管理下，魚與綠牆植物也能達到互利共生。

一、建議

(一) 背景環境：

本研究證實氮循環存在於魚菜共生系統中，然而本研究未對日照、溫度、濕度進行充分的控制，使得試驗過程中氮循環可能受到背景環境變化影響，進而影響綠牆植物去氮能力之表現，針對此部分後續研究可進行深入的探討。

(二) 試驗植物：

由於綠牆植物生長週期與蔬菜作物有所差異，進行試驗之前，建議以扦插方式繁殖栽培，經由試驗前處理先馴化植物，並預備在一旁待試驗用。本研究建議後續研究可以選擇多樣種類的植物進行試驗比較，並分析魚菜共生系統中如何增加植物所需的微量元素，以維持植物的良好生長。

(三) 試驗魚類：

由於魚菜共生是由水產養植及水耕栽培兩大技術結合而成，透過文獻回顧，水耕栽培技術知識甚為廣泛，須由前人研究以及實際經驗，才能熟悉透徹，整體文獻整理相較之下，對魚水產養殖方面稍顯薄弱，故建議後續研究，除了從基礎的水族知識了解如何養魚，亦需要補充水產養殖相關文獻，以提高魚的存活率。

(四) 試驗系統：

由於本研究進行魚菜共生與綠牆整合系統為垂直滴流式(Vertical Farming)之魚菜共生

系統類型，建議後續研究可以針對植物生長特性，或是搭配景觀設計等，嘗試不同系統類型試驗進行魚菜共生之探討。

(五) 系統效益：

魚菜共生除了對農業產出及環境發揮效益，也希望能夠發揮都市綠美化、淨化環境品質，並帶給人類新的視覺感受以及身心健康，後續研究可以針對魚菜共生之用途多加思考，並探討其對現代人類生、心理之助益。

參 考 文 獻

- 王獻堂、水水團隊。2015。魚菜共生：水培趣，打造可食的綠色風景。尖端出版。
- 行政院農業委員會臺中區農業改良場 (http://www.tdais.gov.tw/show_index.php)
- 行政院農業委員會臺南區農業改良場 (http://www.tndais.gov.tw/show_index.php)
- 行政院環境保護署 水質標準 (<http://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx>)
- 行政院環境保護署 室內植物淨化空氣網站 (<http://freshair.epa.gov.tw/houseplant/index.asp>)
- 城田魚菜共生健康農場。2015。魚菜共生：鮮採現吃！從地下室到頂樓，從零開始實踐的新形態懶人農法。麥浩斯出版。
- 高德錚。1986。水耕栽培—精緻蔬菜生產技術之開發。台中區農推專訊 56 期。
- 設施生產自動化技術 電子書 (<http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/hort/main.html>)
- 魚缸計算機-EasyATM (http://www.easyatm.com.tw/calculate_d1.html)
- Lam, S. S., N. L. Ma, A. Jusoh, and M. A. Ambak. 2015. Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 102: 107-115.
- Hu, Z., J. W. Lee, K. Chandran, S. Kim, A. C. Brotto, and S. K. Khanal. 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technol.* 188: 92-98.

Comparison of Water Purifying Capacity of Green Wall Plants in Aquaponics System

Shen Chen ¹⁾ Chen-Fa Wu ²⁾

Key words : Aquaponics, green wall, landscape plants, Nitrogen cycle

Summary

Aquaponics system has been widely applied to vegetable production, fish farming, and promoting concepts of ecological, gardening and aquaponics. However, future applications of integrating aquaponics system and landscape design haven't yet been studied in depth.

The purpose of this study is to create green walls integrating with aquaponics systems in order to understand the denitrification ability of landscape plants. In this study, I set up landscape plant and fish aquaponics system in a NCHU greenhouse. Flaming katy or a.k.a Kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*), Rieger begonia (*Begonia × hiemalis*), African violet (*Saintpaulia ionantha*) were selected as experiment plants. Rieger Begonia was found less suitable for vertical trickle aquaponics system, particularly, showing poor growth and high mortality. Both Rieger begonia and African violets showed positive effects on reducing electric conductivity, salinity and total suspended solid concentration. Based on variations of hydrogen ions, ammonia nitrogen and nitrates concentrations, both systems can be considered forming a complete nitrogen cycling.

The study also found that ambient temperature, humidity, and algae are likely to affect the stability of the aquaponics system. Furthermore, amounts of fish feeding influence on fish growth and nitrogen produced from the fish, which may impact the system indirectly. Overall, the integrating system of fish and landscape plants has certain aesthetic values and stability. However, regular maintenance and management work is required in order to keep stability of the system.

1) Master student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding Author.