水產試驗所特刊 第 29 號
FRI Special Publication No.29

漁農共生系統之開發與應用

Development and Application of the Integrated Agriculture-Aquaculture Systems



水產試驗所特刊 第 29 號
FRI Special Publication No.29

漁農共生系統之開發與應用

Development and Application of the Integrated Agriculture-Aquaculture Systems



行政院農業委員會水產試驗所
Fisheries Research Institute, COA
中華民國一〇九年十二月
December 2020

序

結合新農業與循環經濟核心價值的循環農業，是農委會當前極力推動的政策之一，主要是希望透過再利用的方式，讓各項生物資源的生命週期延長與不斷循環，以有效緩解廢棄物與污染問題，形成「從搖籃到搖籃」的新經濟模式，進而逐步發揮減廢、零廢、節能與創能的功效，達成環境永續的最終目標。

循環農業的實踐必須透過跨領域的合作，並導入資源共享之概念，因此自民國106年起，在農委會計畫經費支持下，結合農林水畜等4個試驗所、各農業試驗改良場以及大專院校等學研單位的技術與研發能量投入整合，共同執行「農業資源循環產業創新」計畫。這項計畫在資源循環永續的前提下，針對「開創永續型農業資源資材循環再利用新產業」以及「農業綠能共構共享之技術創新與新產業模式」兩大主軸，進行農業資源的加值利用與產業創新開發，而本刊所介紹的「漁農共生系統」為其中的一個重要項目。

傳統的農業與養殖生產需要耗費大量的水土資源，但臺灣地狹人稠，適合開發的土地已不多見；降雨量雖然豐沛，分布時間與空間卻顯著不均，豐枯期差異大；河川因地形之故，短促、流急且河水蓄留力低；兼因受到全球暖化與氣候變遷的影響，乾旱或暴雨等極端氣候災害事件頻傳。凡此種種，均使得水資源的取得、利用與管理日趨困難，對賴水維生的農業與水產養殖而言，所面臨的挑戰更是嚴峻。



漁農共生系統是一種結合水產動物養殖及農耕植物栽種的新型態農業生產方式，系統中所栽種的植物可有效吸收水產動物養殖過程中所產生的氮、磷等物質並淨化水質，之後再重新提供養殖生物利用，具有低污染物排放、低化學肥料使用的特性，並能充分利用水資源，是一種體現友善環境概念的永續性農法。

漁農共生系統有各種不同的型態及規模，大者可用於進行經濟性量產，小者可架設於住家、學校或醫療機關等不同場所，發揮休閒、教育、療癒等功能。本刊彙整本所淡水繁養殖研究中心、東部海洋生物研究中心與臺中、臺南、花蓮區農業改良場以及財團法人農業科技研究院執行相關計畫之研究成果供各界參考，希望有興趣的民眾能因此更加瞭解漁農共生系統從規劃、建構、生產到管理的各項環節，繼而吸引更多人投入友善環境的農業生產行列，共同為臺灣的永續發展盡一份心力。

行政院農業委員會水產試驗所

所長 陳君如 謹識

中華民國一〇九年十二月



Development and Application of the Integrated Agriculture-Aquaculture Systems

CONTENTS
目次



漁農共生系統技術建立的現況與展望 ——— 魏良佑

摘要 ——— 1
前言 ——— 1
材料與方法 ——— 2
結果與討論 ——— 3
未來展望 ——— 5
參考文獻 ——— 7

魚菜共生系統與管理 ——— 黃德威、薛守志、劉于溶、楊順德

摘要 ——— 9
前言 ——— 9
系統原理架構簡介 ——— 10
養殖物種及環境條件 ——— 14
飼料與營養 ——— 16
魚類的疾病與防治 ——— 18
植栽作物的種類 ——— 20
作物的營養需求與病蟲害 ——— 21
魚菜共生系統的魚菜比例 ——— 23
植栽的種植規劃 ——— 23
系統的健康管理 ——— 25
結論 ——— 28
參考文獻 ——— 28

創新魚菜共生系統之多元利用 ——— 黃德威、鍾永廷、劉恩良、楊順德

摘要 ——— 29
前言 ——— 29
不同植栽密度對系統生產與營養元素的影響 ——— 30
不同植栽組合對系統生產與營養元素的影響 ——— 31
系統加養觀賞蝦類對系統生產與營養元素的影響 ——— 33
觀賞水族與香草植物之共生系統 ——— 35
結論 ——— 37
參考文獻 ——— 37

都市農業與魚菜共生之連結與展望 ——— 楊清富、王志瑋

摘要 ——— 39
前言 ——— 39
都市農業 ——— 40
魚菜共生系統的ABC ——— 40
魚菜共生系統的型式 ——— 41
都市魚菜共生小農場 ——— 43

結語 46
參考文獻 46



小型魚菜共生的未來與發展 王志瑋、楊清富
摘要 47
前言 47
原理與重點發展 48
模組型魚菜共生系統 48
系統維護 49
示範設施及問卷調查 51
結語 53
參考文獻 53



魚茭共生友善環境經營模式示範及效益評估 藍玄錦、王茗慧、潘依玲、曾喬庸、陳俊位
摘要 55
前言 55
水產生產剩餘物應用於茭白筍土壤改良 56
魚茭共生 57
魚茭共生之生物防治 58
茭白筍生產剩餘物應用性 59
微生物製劑及菇蕈生產剩餘物質於茭白筍友善栽培或水產養殖上之應用 61
結語 63
參考文獻 66



魚隻放養密度對魚芋共生有機栽培模式之影響 林文華、楊大吉
摘要 67
前言 67
材料與方法 68
結果與討論 70
參考文獻 74



多溫層海水魚藻共生系統開發 黃侑勛、李沛珊、陳玉萍、謝易叡、何源興
摘要 75
前言 75
材料與方法 77
結果與討論 80
結論 83
參考文獻 84



漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：1-8, 2020

漁農共生系統技術建立的現況與展望

魏良佑
財團法人農業科技研究院

摘要

漁農共生是一種農業生產方式，結合水產動物養殖和農業植物種植，本研究採文獻回顧法彙整歐盟、美、日及中國等國家發展漁農共生的背景、歷程、科研和經濟可行性評估等資料，且參考我國發展漁農共生相關技術資訊，進行資料的比較分析。結果顯示目前漁農共生分為有機生產的魚芋共生、魚菱共生等生態友善型，亦包含可量產的魚菜共生型，並發展出各項技術，包含營養鹽應用、材料應用、過濾系統、導入物聯網監控系統、應用微藻進行加值或能源應用等科研，然而商業模式需要穩定的生產和供應，為此建議採用循環經濟的循環利用、零廢設計、模組化應用、租賃模式及穩定生產等方式，作為漁農共生系統建置之參考。

關鍵詞：漁農共生、循環經濟、模組化、量產

前言

臺灣農業每年約產出 500 萬公噸的農業剩餘資材 (圖 1)，其中分別以畜產剩餘資材和農產剩餘資材為大宗。這些農業剩餘資材富含大量的營養物質如磷、氮，但因農民習慣就地翻耕掩埋、堆積或排放，造成約有 30% 的可再利用資源流失、浪費及污染。目前有許多剩餘資材處理的方式，若採行循環農業的概念，不只可妥善處理剩餘資材，

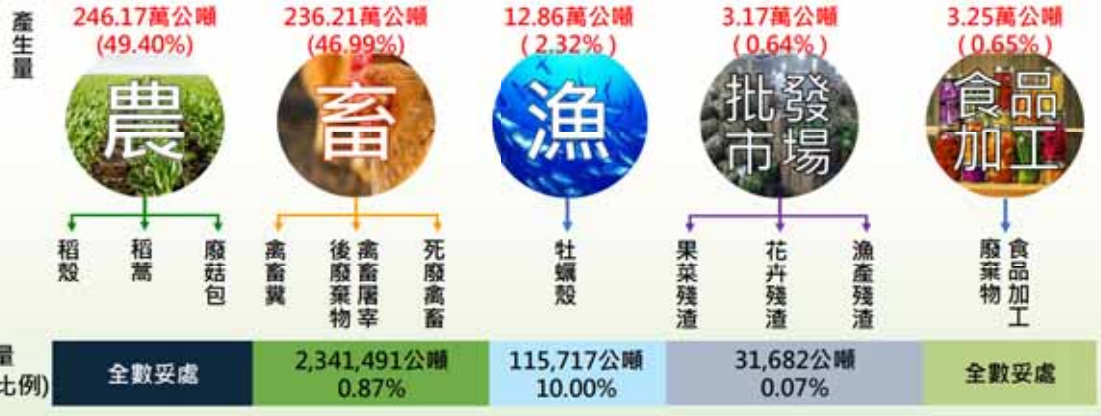


圖 1　2018 年農業廢棄物統計量
資料來源：行政院主計總處 (2020) 107 年綠色國民所得帳-農業廢棄物排放帳

還可以產生新的價值。如將禽畜剩餘資材收集後，利用發酵池進行厭氧消化，產生的沼液，可做為植物肥料施加在農地上，減少化學肥料使用成本。其他產物如沼氣，則能透過能量轉換成可供應農舍或機具設備電力或燃料需求。如此套入循環農業的概念，不僅有助於處理大量的禽畜糞便，更使原本看似無用的排泄物重新回到價值鏈的源頭，為其他經濟活動產生效益。

循環經濟是一種新商業模式 (圖 2)，相對於線性經濟中的產品最後會走向丟棄的盡頭，循環經濟是資源可恢復且可再生的經濟和產業系統，且循環經濟使用再生能源、拒絕使用無法再利用的有毒化學物質，藉由重新設計材料、產品、製程及商業模式，消除廢棄物。循環經濟重視資源使用效率 (resource efficiency)，設法以更少的資源來創造更多的價值，確保地球有限的資源能以循環再生、永續方式被使用。

農業循環經濟是指在農業的生產、銷售、消費過程中，產生或使用的生物質 (biomass)、設施、資材等部分，進行供應、使用、回收再利用的循環經濟 (圖 3)。且全球農業循環經濟主要著重於四大區塊，包括營養回收、能源回收、再利用之新原料開發和廢棄物減量，為此，農、林、漁業及畜產等四大領域，可進行跨域整合和技術媒合，如農業和漁業整合型的漁農共生系統，可提供新型態生態永續和經濟規模生產契機。

材料與方法

漁農共生是一種農業生產方式，兼顧農業種植和漁業養殖特性，對空氣、水、土壤、營養鹽等環境分析，加上生物成長、排泄、空間密度等生物參數，以達到生態永續和循



圖 2　循環經濟模式

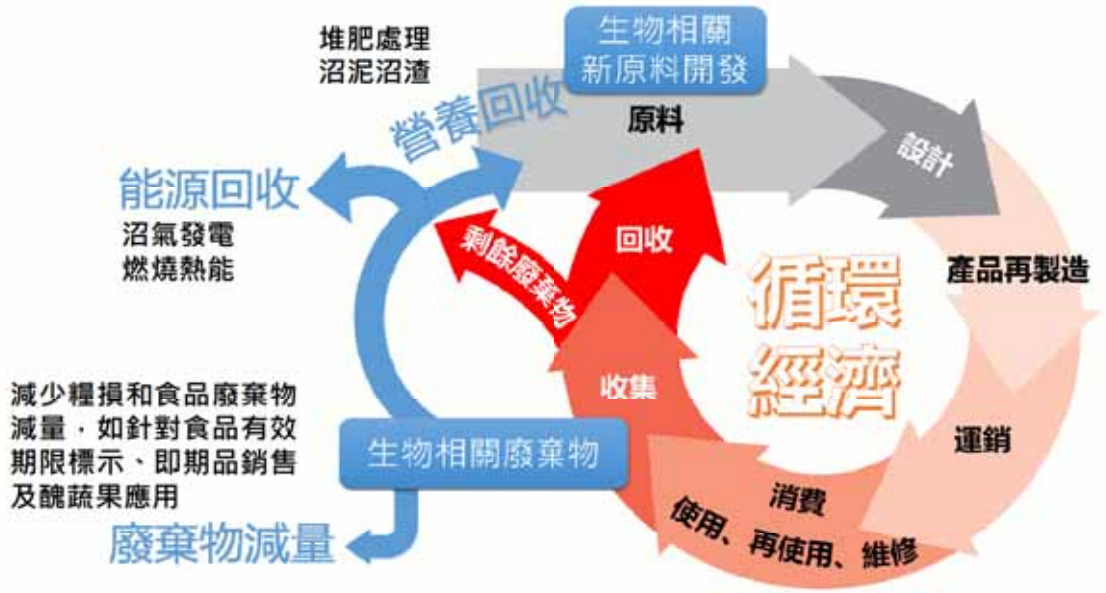


圖 3　農業循環經濟模式

環利用的目的。在此初探性研究中，為瞭解漁農共生相關技術發展，本文採文獻回顧法進行彙整，首先收集歐盟、美、日及中國等國家發展漁農共生的背景、歷程、科研和經濟可行性評估等資料，且參考我國發展漁農共生相關技術資訊，進行資料的比較分析，且針對漁農共生各項技術研發、製程、物種、管理和發展，提出相關建議。

結果與討論

一、漁農共生的發展

漁農共生的發展由來已久，早期即有稻米、魚類和家禽養殖等共生方式 (FAO, 2001)，且多以生態環境之共生概念為主，並確保有效的營養循環。在該系統中，魚類的排泄物被微生物分解，產生的副產物進入到植物系統中供給生長需求 (Bosma et al., 2017)。當植物利用這些代謝產物時，它會淨化水質，進而將水重新用於水產養殖系統中以生產魚類 (Chaves et al., 1999)。因此可以在不使用化學肥料的情況下，實現作物的可持續生長以及水資源消耗量低的養殖系統。漁農共生系統可推廣於土地和水資源有限的地區，其產量是一般生產系統的 3－6 倍 (Resh, 2004)，且所需的水量比一般水產養殖系統為低 (Liang and Chien, 2015)。因此，在許多發展中國家，該系統被認為是可解決魚類和農作物產量不足以及失業和貿易逆差的解決方案 (Bosma et al., 2017)。

目前國內漁農共生大概分為兩個類型，一是有土壤的生產方式，且多以生態永續和休閒遊憩為主，建構生態系統亦注重景觀園藝，考量視覺豐富度和族群多樣性，且種植環境引入改善土壤等相關技術，如結合芋頭和魚類的魚芋共生，以及結合菱白筍和

魚類的魚菜共生；另一則是以水耕植物為主，常使用於平面植栽床的魚菜共生，其養殖水產區塊多為獨立，並以過濾系統等方式串聯。該技術可分為養殖區、沉澱過濾區、生物濾床、水耕植栽床等四個區塊，且植栽床依據培育方式，又分為深水式栽培、介質式栽培及薄膜式栽培三種（黃等，2017）。

魚菜共生（aquaponics）是結合水產養殖（aquaculture）及水耕栽培（hydroponics）兩者生產方式，藉由該環境的水、氧、碳、氮、磷、鉀等物質流循環的循環農業。其結合水生動物中的排泄物與水中的有機質，分解過濾成植物可吸收的無機鹽後供應給飼養箱上的蔬菜，同時蔬菜的根系把系統內的水淨化供給水生動物使用（陳等，2017）。該技術具有很高的用水效率，不使用農藥，降低肥料的使用，是一種可持續性生產的綠色農法。

此外，由於該技術是跨域利用水產和植耕等相關生產技術，往往需兼具兩者專業知識，且須注重多項技術操作，過程相當繁瑣，人力成本相對提高，且相關設施尚無採用高密度生產和技術，另亦納入相關外部成本，因此相關的成本效益尚無法達到經濟規模（李，2016；吳，2016；鍾，2016；楊與鄭，2016；黃等，2017）。

我國於 2017 年起，推動「農業資源循環產業創新」計畫，以循環永續為前提，進行農業資源的加值利用與產業創新，於漁農共生科研部分，已盤點出水產養殖業未利用之氮約有 1.57 萬公噸/年，而作物系統可將飼料中氮元素吸收利用 15－20%（楊，2017），淨化水質，並以附著型藻菌提供螺類相關營養物，並減少有機物的堆積，依據場地條件設計漁農共生系統架構。

二、漁農共生的優勢

漁農共生有許多優點，目前發展分為二個區塊，首先是改善土壤環境，運用矽酸鈣、蚵殼粉進行土壤改良，並運用微生物製劑於養殖循環系統，符合生態有機的環境要求，將來可進行有機認證。另一則是以水產養殖和水耕系統為主軸，搭配水循環系統及營養循環系統的整合，因此發展出多方研究，例如養殖和種植系統中有關營養鹽應用、材料應用研究，針對水質和營養鹽的過濾系統，且導入物聯網監控系統，應用微藻進行加值或能源應用，發展高鹽度種植和養殖系統等，並對其物質流生命週期進行估算，導入商業模式，調整並規劃相關法規政策。

漁農共生的養殖和栽種首重營養鹽的管理，如以腐植酸提高植耕系統中生物鐵的吸收（da Silva Cerozi, 2020）、不同魚類和植物品種進行共生之氮循環與養分回收率關係（Paudel, 2020）、磷與共生有氧消化過程的硝化作用關係（Khiari et al., 2020）、循環養殖系統之二甲酸鉀和氯化鉀的評估（Siqwepu et al., 2020）及漁農共生之養殖廢水中氨和正磷酸鹽的去除（Effendi et al., 2020）。

由於漁農共生為生態循環的良好範例，採用農業循環資材也是目前發展的方向，例如採用生物炭去除植耕系統和養殖水系統中的有毒氨（Su et al., 2020），或是在養殖系統中採用生物炭製成的過濾材料，降低濁度並過濾有害物質（Khiari et al.,

2020)，應用陶粒添加木質纖維素材料於曝氣生物濾池並回收營養鹽 (Zhang et al., 2020)。此外，為因應水質淨化、餌料和循環需求，採用了微藻和相關的研究，如在漁農共生模組中養殖水體的微藻培養，獲得蛋白質餌料並提供水質淨化功能 (Tejido-Nuñez et al., 2020)，而微藻曾是生質能的熱門選項，但其生產成本居高不下 (Quinn et al., 2014)，因此採用多系統和經濟規模生產的循環利用方能獲利，並為產業提供解方。

三、漁農共生商業規模應用

漁農共生目前大多為政府支持的科研，如以永續為理念的生態循環 (Klerkx and Rose, 2020)，提供永續性的生產系統，並導入企業社會責任 (Weindl et al., 2020; Tuomi and Tussyadiah, 2020)；在生產方面，以植物工廠為基礎的發展 (Kozai et al., 2020)，且經過效率改善，經濟規模生產，能夠提供足夠的糧食 (Abusin and Mandikiana, 2020)，許多城市已開始進行相關測試，除了提供生產外，亦能提供景觀、休閒，融入城市的都市規劃中 (Mohan et al., 2020; Li et al., 2020)。而中國的養殖漁業，也進行相關投資，至東南亞、印度、非洲等國發展相關產業，倚賴漁農共生省水、經濟價值高的優點 (Ni et al., 2020)。

為了達到空間坪效和經濟規模生產，導入水、營養鹽和環境監控系統、養殖過程中魚的代謝和活動監控 (Lee and Wang, 2020)、養殖恆定加熱系統的自動控制和監控系統 (Le et al., 2020)、自動化省工和環境監控的應用 (Yanes et al., 2020)；此外，針對系統和環境，整合了土地、設備、結構體、感測、物聯網技術，而有模場化的設計 (Ferrara et al., 2020; Kozai et al., 2020)。

未來展望

漁農共生最大的挑戰是走向商業應用，也就是將傳統的農業生產導向精確化，意即導入智慧農業，因此需要採用感測器、智能設備和物聯網系統進行監控和自動化 (李等，2019)。最近，自動化系統有了跳躍式的發展和應用，尤其是整合相關的設施、設備和結構的模場化是良好的解決方案。此外，農業著重於穩定生產和供應，為此設計和規劃相關的生產排程，顯得相當重要，以植物工廠為例，如果目前的水耕大約數週即可採收，而魚類的養殖 1 年大約有 3 次，為此必須設定不同的輪作區、動線、採收規劃，採取循環經濟的概念進行設計。

循環經濟著重於流程設計，其材料和製程須符合回收再利用的原則，稱為搖籃到搖籃的產業 (cradle to cradle)，也稱為 C2C、cradle 2 cradle，是產品及系統設計上，將人類的產業視為一種自然界的程序，將每個材料當作循環代謝中的一個元素。這個詞相對的意義是從搖籃到墳墓 (cradle to grave)，也就是我們熟悉的線性經濟，產品從生產、售出、使用到丟棄的過程，代表著現今全球化商品的普遍模式。

在這個框架下，漁農共生擁有生態系統優勢，扮演著環境永續和循環生產的特點，而設計上可以採用以下方式：

一、循環利用

植物工廠和水產養殖的營養循環並採用太陽能發電模組，設計能源管理，應用儲能系統和熱交換系統。

二、零廢設計

建築結構採用綠建築建材、生產設備採用省工機具和使用物聯網進行監控管理。漁農共生除了是跨域技術結合外，另外對於營養鹽的物質流也是重要的循環利用，因為原本的系統皆需要給予飼料、營養鹽的補充，加上水、碳、氮、磷、鉀等控管，除了原本區域的循環利用外，亦可妥處外部來自畜牧場的禽畜糞尿，禽畜糞尿富含磷、鉀等植物成長所需之元素（陳等，2018），若能將畜產的沼液及沼渣運用於漁農共生系統，可使植栽多樣化，達到循環利用的目的並提升整體產值。

三、模組化應用

漁農共生可依植物工廠、養殖生產、過濾設備、循環設備等制定標準和模組化（圖4），以面積、容積等規劃，不受到環境的條件限制，以一單位容積，納入植物工廠和養殖模場的基本模組，以水、營養鹽等循環利用，搭配流程化、系統化監控與管理，加上省工設備與綠建築規劃，搭配太陽能模組，並配合量產規模以並聯方式增加應用。

四、租賃模式

採用以租代買概念，結合模組化設計，相關產品（包含建築結構、設備、管理系統等）計價方式為服務時數和週期，廠商為利於管理、維修、保養以及節省人力，會置入相關監控和管理單元，並設計耐用度高的產品。此外投資者會考量獲利、設備折舊和服務維修等，此服務模式是促成循環農業的重要關鍵。

五、穩定生產

按生產週期，選擇快速成長品種，且模組化後的漁農共生可以排程生產，按市場需求調節並穩定供應。

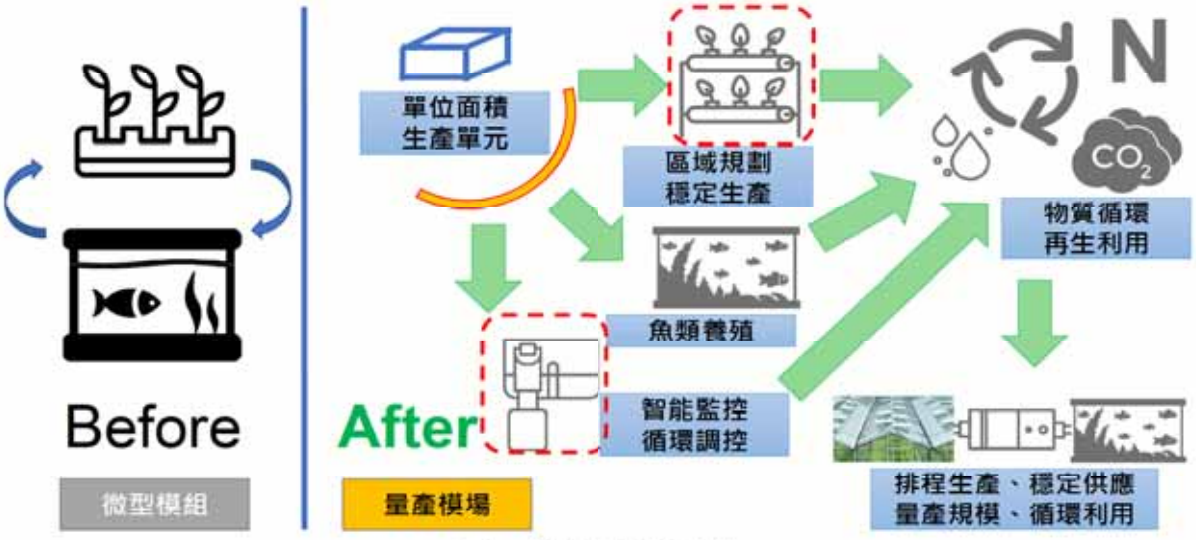


圖 4　漁農共生量產模場

參考文獻

吳瑞梹 (2016) 魚菜共生自學指南。積木文化，152 pp。

李欣倩 (2016) 魚菜共生在臺灣的現況與展望。大仁科技大學環境管理研究所碩士論文，80 pp。

李健、楊清富、王志瑋 (2019) 魚菜共生魚活動次數及水質物聯網監測系統之開發。臺南區農業改良場研究彙報，73: 50-62。

陳琦玲、林晏頡、廖崇億 (2018) 畜牧廢水農地施肥要領。農業試驗所特刊，第 206 號，76 pp。

陳登陽、林琨堯、黃昶立 (2017) 魚菜共生：打造零汙染的永續農法及居家菜園。晨星出版社，272 pp。

黃德威、薛守志、劉于溶、楊順德 (2017) 養殖水耕－魚菜共生。水產試驗所技術手冊 11，56 pp。

楊清富 (2017) 魚菜共生系統之原理與應用方法。臺中區農業改良場特刊，第 133 號，63-80。

楊清富、鄭安秀 (2016) 魚菜共生系統原理與方法。臺南區農業改良場技術專刊，第 165 號，24 pp。

鍾欣華 (2016) 臺灣魚菜共生農場成本效益分析之個案研究。國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，52 pp。

Abusin, S. A. and B. W. Mandikiana (2020) Towards sustainable food production systems in Qatar: assessment of the viability of aquaponics. Global Food Security, 20: 100349.

Bosma, R. H., L. Lacambra, Y. Landstra, C. Perini, J. Poulie, M. J. Schwaner and Y. Yin (2017) The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. Aquacult. Eng. 78: 146-154.

Chaves, P. A., R. M. Sutherland and L. M. Laird (1999) An economic and technical evaluation of integrating hydroponics in a recirculation fish production system. Aquac. Econ. Manag. 3(1): 83-91.

da Silva Cerozi, Brunno (2020) Fulvic acid increases iron bioavailability in aquaponic systems: theoretical designs and practical considerations to prevent iron deficiency in plants. Aquacult. Eng., 90: 102091.

Effendi, H., B. A. Utomo and N. T. Pratiwi (2020) Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *Vetiveria zizanioides*. J. King Saud Univ. Sci., 32(1): 207-212.

FAO (2001) Integrated Agriculture-aquaculture: A Primer. Issue 407. ISBN 9251045992.

Ferrara, M., C. Lisciandrello, A. Messina, M. Berta, Y. Zhang and E. Fabrizio (2020) Optimizing the transition between design and operation of ZEBs: lessons learnt from the Solar Decathlon China 2018 SCUTxPoliTo prototype. Energ. Buildings, 213: 109824.

Khiari, Z., K. Alka, S. Kelloway, B. Mason and N. Savidov (2020) Integration of biochar filtration into aquaponics: effects on particle size distribution and turbidity removal. Agr. Water Manage., 229: 105874.

Khiari, Z., S. Kaluthota and N. Savidov (2020) Phosphorus delays the onset of nitrification during aerobic digestion of aquaculture/aquaponic solid waste. Biochem. Eng. J., 155: 107493.

Klerkx, L. and D. Rose (2020) Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: how do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? Global Food Security, 24: 100347.

Kozai, T., G. Niu and M. Takagaki (2020) Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production (second edition).

Le, A. T., Y. Wang, L. Wang and D. Li (2020) Numerical investigation on a low energy-consumption heating method for recirculating aquaponic systems. Comput. Electron. Agr., 169: 105210.

Lee, C. and Y. J. Wang (2020) Development of a cloud-based IoT monitoring system for Fish metabolism and activity in aquaponics. Aquacult.

Eng., 90: 102067.

Li, L., X. Li, C. Chong, C. H. Wang and X. Wang (2020) A decision support framework for the design and operation of sustainable urban farming systems. J. Clean. Prod., 268: 121928.

Liang, J. Y. and Y. H. Chien (2015) Effects of photosynthetic photon flux density and photoperiod on water quality and crop production in a loach (*Misgurnus anguillicandatus*) - nest fern (*Asplenium nidus*) raft aquaponics system. Int. Biodeter. Biodegr., 102: 214-222.

Mohan, S. V., K. Amulya and J. A. Modestra (2020) Urban biocycles-closing metabolic loops for resilient and regenerative ecosystem: a perspective. Bioresource Technol., 306: 123098.

Ni, M., J. Yuan, J. Hua, Q. Lian, A. Guo, M. Liu, J. Xin, H. Wang and Z. Gu (2020) Shrimp-vegetable rotational farming system: an innovation of shrimp aquaculture in the tidal flat ponds of Hangzhou Bay, China. Aquaculture, 518: 734864.

Paudel, S. R. (2020) Nitrogen transformation in engineered aquaponics with water celery (*Oenanthe javanica*) and koi carp (*Cyprinus carpio*): effects of plant to fish biomass ratio. Aquaculture, 520: 734971.

Quinn, J. C., A. Hanif, S. Sharvelle and T. H. Bradley (2014) Microalgae to biofuels: life cycle impacts of methane production of anaerobically digested lipid extracted algae. Bioresource Technol., 171: 37-43.

Resh, H. M. (2004) Hydroponic food production: a definitive guide for the advanced home gardener and commercial hydroponic grower. New Concept Press, Inc., Mahwah, New Jersey, USA.

Siqwepu, O., K. Salie and N. Goosen (2020) Evaluation of potassium diformate and potassium chloride in the diet of the African catfish, *Clarias gariepinus* in a recirculating aquaculture system. Aquaculture, 526: 735414.

Su, M. H., E. Azwar, Y. Yang, C. Sonne, P. N. Y. Yek, R. K. Liew, C. K. Cheng, P. L. Show and S. S. Lam (2020) Simultaneous removal of toxic ammonia and lettuce cultivation in aquaponic system using microwave pyrolysis biochar. J. Hazard. Mater., 396: 122610.

Tejido-Nuñez, Y., E. Aymerich, L. Sancho and D. Refardt (2020) Co-cultivation of microalgae in aquaculture water: interactions, growth and nutrient removal efficiency at laboratory-and pilot-scale. Algal Res., 49: 101940.

Tuomi, A. and I. P. Tussyadiah (2020) Building the sociomateriality of food service. Int. J. Hosp. Manag., 89: 102553.

Weindl, I., M. Ost, P. Wiedmer, M. Schreiner, S. Neugart, R. Klopsch, H. Kühnhold, W. Kloas, I. M. Henkel, O. Schlüter, S. Bußler, S. D. Bellingrath-Kimura, H. Ma, T. Grune, S. Rolinski and S. Klaus (2020) Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: a Leibniz position. Global Food Security, 25: 100367.

Yanes, A. R., P. Martinez and R. Ahmad (2020) Towards automated aquaponics: a review on monitoring, IoT, and smart systems. J. Clean. Prod., 263: 121571.

Zhang, H., Y. Gao, H. Shi, C. T. Lee, H. Hashim, Z. Zhang, W. Wu and C. Li (2020) Recovery of nutrients from fish sludge in an aquaponic system using biological aerated filters with ceramsite plus lignocellulosic material media. J. Clean. Prod., 258: 120886.

漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：9-28, 2020

魚菜共生系統與管理

黃德威[1]、薛守志[1]、劉于溶[2]、楊順德[1]
[1]行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心
[2]行政院農業委員會水產試驗所海水繁養殖研究中心

摘要

魚菜共生系統具省水及資源循環再利用的特點，為近年來備受矚目而多方探討的議題。魚菜共生系統設施由養殖槽、沉澱槽、生物過濾床及水耕植栽床等串聯而成，以結合水產動物、微生物及植物三者間的互利共生為主軸。養殖槽搭配不同的水耕栽種模式，大略可分為深水式、介質式及薄膜式等三大類。養殖及植栽作物種類之選擇，需考量系統的大小、設施架構、建置位置環境、季節性及生物特性等因素。為持續穩定運作魚菜共生系統，需對養殖動物、生物菌床和植栽作物有妥善的管理，尤其是水質管理極為重要，並投餵養殖動物適性適量的飼料，注意養殖動物及植栽是否發生疾病並及時處理，以提供生物合適的環境條件，達到有效益的生產。

關鍵詞：魚菜共生系統、水產動物、植栽作物

前言

生態、環境、資源和食安是永續糧食供應的核心關鍵，首要之務必須解決氣候異常、土壤肥力流失、天然資源不足和淡水資源短缺等問題，因此，衍生出生態循環農法，效法大自然的生態循環原理，充分利用有限的水土資源，生產安全的農作產品。其中，開發魚菜共生模式，可減少水資源消耗，降低養殖排放水對環境的衝擊，具有資源循環再利用的特色，又能生產安全的動物性蛋白和農作物而日受重視。

魚菜共生 (aquaponics) 因不同系統樣態，亦稱為養殖水耕、養耕共生、養殖水培、複合式養耕等，是結合水產養殖與水耕栽培植物的互利共生生態系統，系統中未被養殖動物充分利用的有機和無機營養，由植栽作物從中獲得生長所需的營養鹽，並將水淨化供給水產動物使用，可減少養殖系統中的有機排泄物堆積，有效率的循環使用養殖用水，降低排放水對環境所造成的衝擊，同時由於水資源的循環利用而達到省水的效果 (Rakocy, 2012)。近半個世紀發展出來的魚菜共生系統，是循環水養殖與水耕植物栽培的結合，就在 1970 年代，深水式水耕和介質式水耕陸續被運用在魚菜共生系統，迄今仍是常見的運作系統。

魚菜共生系統具有省水和資源循環再利用的特點，因為強調生態共生，普遍受到追求飲食安全健康者的喜愛，且在有限的土

地空間裡同時生產水產品和農作物，規模可從小型庭院怡情自給自足，放大到商業化生產規模 (Junge et al., 2017)。本文彙整本所近幾年的研究結果並融合其他學者的經驗與見解，介紹魚菜共生系統的主要三個元件：水生動物、植栽作物、過濾循環系統及系統內彼此間的交互關係，扼要說明養殖水產動物、植栽作物、系統建置和管理調控等項目，佐以相關試驗研究的結果加以說明，供各界魚菜共生愛好者之參考。



圖 1　魚菜共生系統的氮循環

系統原理架構簡介

一、系統原理

魚菜共生是結合循環養殖和水耕栽培的複合式養殖系統，其原理是以植物、水產動物及微生物三者間的互利循環為主軸，透過水體的傳導，達到同時生產水產動物和植栽作物的目的。投入系統中的飼料經過魚隻的吸收代謝後轉化為未解離氨 (NH_3) 排泄到水中，是毒性較高的含氮廢物，大部分會與水中的氫離子 (H^+) 結合形成毒性較低的離子化銨(NH_4^+)，其他則藉由生物濾床中的硝化菌類與亞硝酸氧化菌在富氧的環境中將其轉換為植物可吸收利用的硝酸鹽類(NO_3^-)，此外，還有一類可將水中固形物 (飼料碎屑、固態排泄物、破碎的植物組織及藻菌死亡後剝落的團塊等) 分解的異營性細菌 (圖 1)。

二、系統設置

魚菜共生系統循環水設施由養殖槽、沉澱槽、生物過濾床及水耕植栽床等 (圖 2) 串聯而成，以下各別說明：

(一) 養殖槽

養殖槽空間需能維持魚類的正常活存和成長，槽形影響水循環效果甚大，通常使用圓形或方形水槽，池底平坦或呈錐形，以避免死角積累太多有機固形物。材質以玻璃纖維或塑膠材質為主，養殖槽的重量輕且易於移動，若地面池設計則以水泥池或鋪防水塑膠布。另可使用易於取得的塑膠桶等容器。桶槽的顏色以白色或輕色系，較易於觀察魚體的外觀、行為和糞便等是否正常，如果設置在室外，槽頂應加蓋防逃，並可避免藻類滋生、樹葉等雜物進入和掠食動物捕食等，一般使用 80－90% 遮光率的黑網。

(二) 沉澱槽或過濾槽

沉澱槽或過濾槽從水中分離出比重較大的顆粒，將養殖槽所產生的固體懸浮物 (糞便、殘餌及微生物碎屑等) 予以移除，以免堵塞系統、干擾水流、降低溶氧、酸鹼

值 (pH) 下降、水質惡化或殘留在槽底行厭氧分解產生有毒物質；再者，固形物過多易附著蓄積在植物根部形成厭氧區而導致缺氧，會阻礙植物吸收水中營養。因此，定期排污是日常管理中極為重要的工作，以免累積於系統影響正常功能。移除的污泥可做有機堆肥，或將之導引到礦化槽，添加碳源如糖蜜等，在強曝氣的狀況下經 2－4 週的礦化作用 (mineralization) 分解為可溶性營養鹽，再流到植栽床供植物生長所需。

(三) 生物濾床

以濾材附著硝化菌形成生物膜，利用好氧性硝化作用將水中氨氮化合物轉換為硝酸鹽。生物濾床的去氨效果取決於能讓硝化菌滋長的可附著表面積，為達生物過濾的最大效率，濾材必須具有多孔性以增加比表面積 (面積與單位體積之比)。常見使用於系統的濾材有：發泡煉石、火山石、牡蠣殼、岩棉、陶瓷環、化學纖維、生化濾棉、生物濾球及塑膠毛刷等。

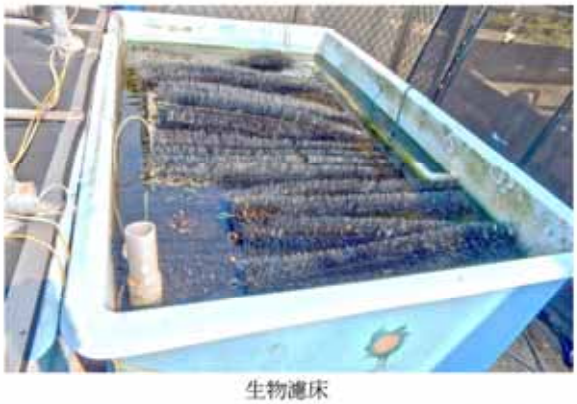
(四) 水耕植栽床

植栽床常見的方式有床架式、地面式、植牆型或水池型，可依地形和實際需求規劃。適當高度的植栽床可提高工作效率，避免因長時間的作業而造成腰酸背痛的情況，同時能夠增加栽培環境的清潔，減少地面上病蟲害及塵土等的接觸。

魚菜共生系統會因不同的植栽作物、操



養殖槽



生物濾床



植栽床



礦化槽

圖 2　魚菜共生系統重要元件

作技術及地理條件等因素而有不同的設計，以養殖槽桶搭配不同的水耕栽種模式，大略可分為深水式、介質式及薄膜式等三大類，在水位、流量、保溫、寬度、長度及深度等都有不同設計方式和操作條件。

1. 深水式栽培 (deep water culture)

深水式栽培 (圖 3) 主要以保麗龍、泡棉板等浮體材質製成的浮筏，將植株栽植於浮筏上，使作物根部浸泡於水體中，目前廣泛被應用在魚菜共生系統。深水式的優點為操作容易，水下空間足夠，能讓植物的根系自由地發展，適合葉菜類作物；缺點是不易栽種中、大型植物，而且如直接將浮筏放置在養殖槽上，雜食性魚類會啃食作物根系，必須在浮筏下方以圍網保護根系。

2. 介質式栽培 (media bed culture)

介質式栽培 (介質耕，圖 4) 較常見於庭院型的魚菜共生系統。目前廣泛應用的介質有發泡煉石、火山岩、陶粒、岩棉、砂石及合成海綿等無機物，以及經高溫、高壓滅菌處理的有機物栽培介質，鋪設的厚度在 10－30 cm，視植栽物種而定。介質式的優點為介質支撐力較佳，而且介質能讓硝化菌附著，達到過濾分解的效果；缺點是清理耗時費工，在高溫多溼的處所容易發霉。介質耕常見的水流方式為潮汐式的鐘形虹吸，水持續流進植栽床到快淹沒介質時 (約表層下 10 cm)，運用虹吸原理將水排放，如此週而復始。

3. 薄膜式栽培 (nutrient film technique culture)

薄膜式栽培 (圖 5) 亦可稱為管道式或管耕式的栽種方法，是在管槽上方間隔一定距離鑽洞種植，植物根系懸架於管槽內接觸水流以吸收養分。薄膜式栽種常見於商轉型的水耕栽培，亦為持續式水流，但不像其他系統，水量並不足以淹沒植物根部，因此只適合生長快速的葉菜類植物，不適於種植較重且根系龐大的大型植物。薄膜式種植可設計為立體階梯式，優點為能在有限的平面空間做立體式栽培，提升作物生產面積。

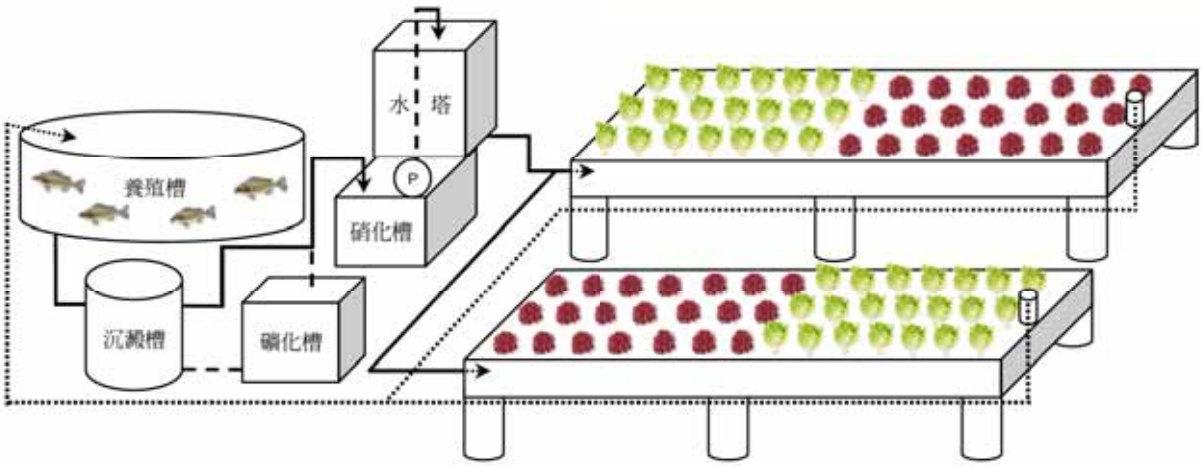


圖 3 深水式栽培

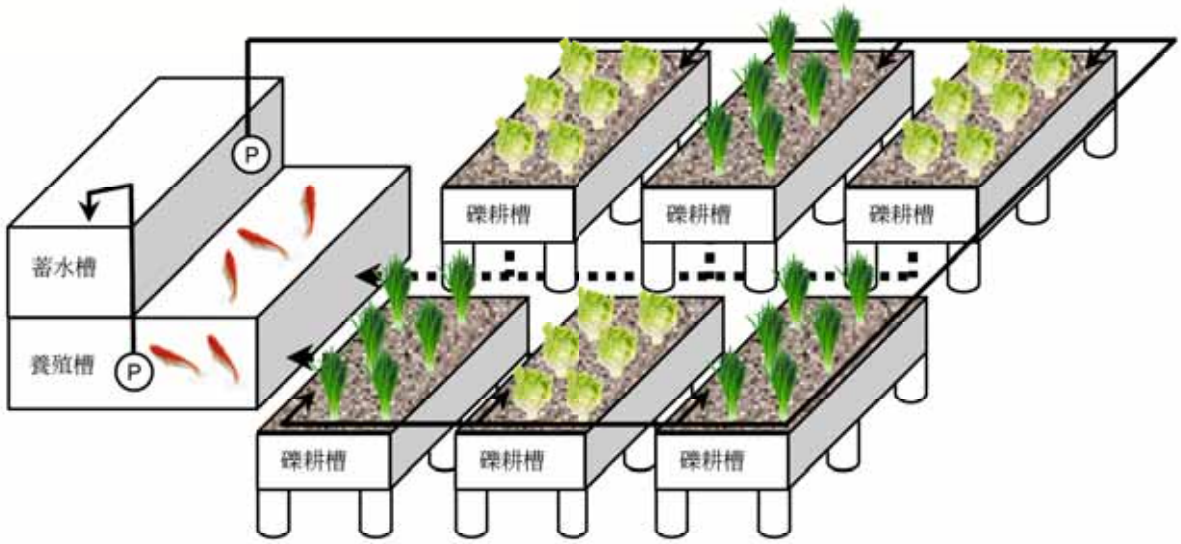


圖 4　介質式栽培

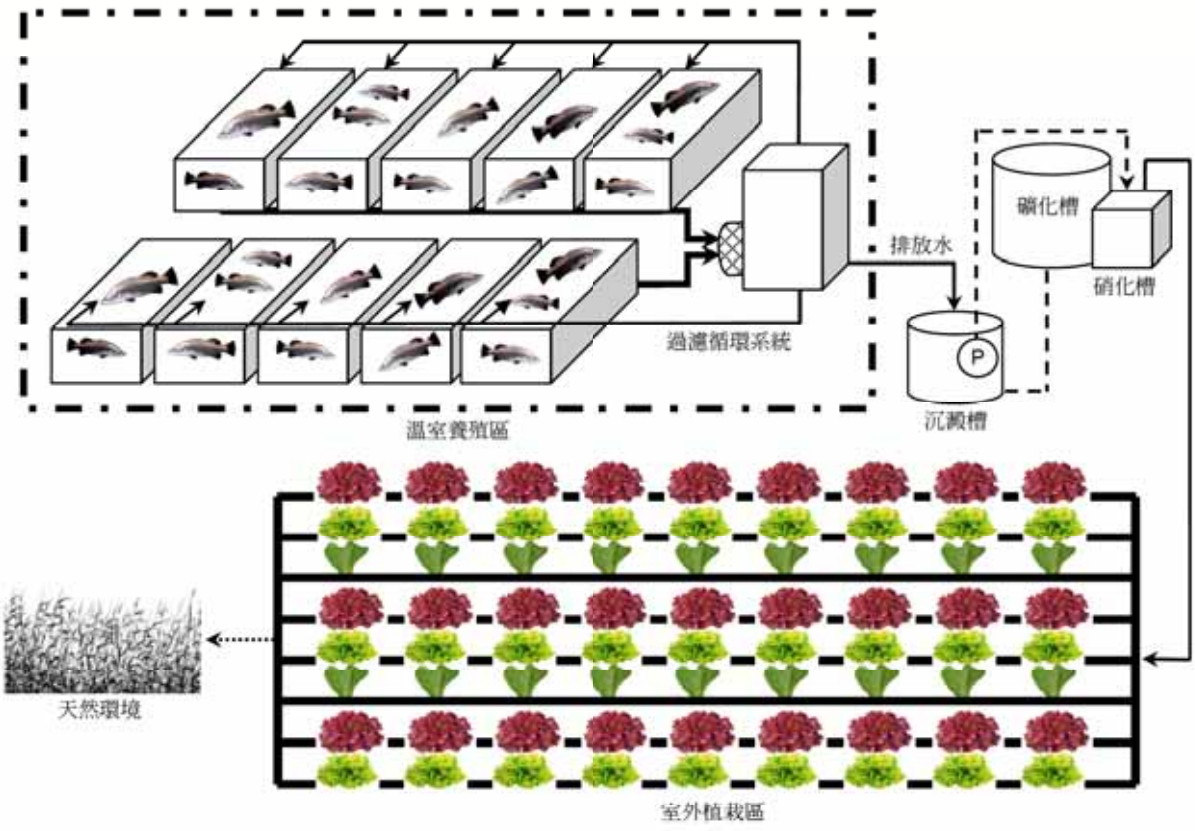


圖 5　薄膜式栽培

養殖物種及環境條件

一、水產養殖物種的選擇

魚菜共生多採用設施生產，所挑選的養殖物種需考慮系統的大小與構成組件不同、管理方式差異、養殖區域不同及季節等因素所造成的限制。放養密度則視目標物種的特性和系統的容載量而定，規劃良好的循環水系統，每公噸水的放養量可達 60－80 kg 以上，而一般庭院型系統因設備簡易放養量可低於 10 kg。至於養殖種類，大多數的淡水物種都可在系統中養殖，如養殖物種為外來種，需做好防逃措施，以免影響生態。

(一) 慈鯛科魚類

因親魚有護幼行為而得其名，產於中南美洲、非洲及西印度群島等地，食性為肉食、雜食或草食，本科以吳郭魚是最常見的養殖魚種。其他本科魚種體色大都豔麗多變，常見於觀賞水族市場。由於分布於熱帶地區，養殖時應注意冬季的保溫工作。除某些品種適於弱酸性水質外，其他則養殖於中性至弱鹼性的環境。

(二) 鯛科魚類

銀鱸和寶石鱸兩種都是原產於澳洲的淡水魚，可適應 12 psu 以下的半淡鹹水。銀鱸具有雜食性、成長快速、生性溫和不相互殘食、性喜底棲適合混養、可高密度放養於池塘中且養成率高、易於接受人工飼料且換肉係數佳等優點。

(三) 鱸魚

臺灣淡水養殖常見的鱸魚有七星鱸、金目鱸及美洲大口鱸，常被用於控制養殖池中自然繁殖的小魚，前兩者是臺灣沿海常見的海水肉食性魚，經馴化後能養殖於淡水中。

(四) 鯉科魚類

本科魚類在臺灣常見的有草魚、鯪魚 (白鯪或稱竹葉鯪)、鰱魚 (黑鯪或稱大頭鯪)、青魚 (烏鰡)、鯉魚 (可分為黑鯉、德國鯉、錦鯉)、鯪魚 (鯁仔)、鯽魚 (土鯽、日本河內鯽) 與鯇魚 (苦花) 等。系統中較常見的種類有俗稱四大家魚的草魚、鯪魚、鰱魚和青魚，以及鯉魚、鯽魚等。

(五) 鮠科魚類及鰕虎科魚類

鮠科魚類的分布從亞洲到歐洲、自溫帶到熱帶，對環境的適應性大。部分種類因有特化的輔助呼吸器官，可以從空氣中呼吸空氣。食性廣，以小魚、小蝦、底棲無脊椎生物、附著性藻類及腐敗的動植物碎屑等為食，如鮠魚、塘虱魚等。

鰕虎科魚類在臺灣較常見的就是泥鰍，以底棲無脊椎動物及昆蟲等為食，除鰓部呼吸外，並可藉由吞入空氣以腸道輔助呼吸。

由於上述兩類魚種對環境適應力較強，成長快，且對人工飼料接受度高，可以高密度養殖，十分適合養殖在魚菜共生系統中。

(六) 甲殼類

淡水養殖的甲殼類有沼蝦、米蝦、淡水蟹類及淡水螯蝦等，常見的有淡水長臂大蝦、貪食沼蝦、溪蝦 (日本沼蝦及臺灣沼蝦)、觀賞蝦 (琉璃蝦、玫瑰蝦、極火蝦等)、毛蟹及大閘蟹。淡水甲殼類喜歡棲息於水流較緩的水域，多以貝類、甲殼類、水生昆蟲與幼蟲、水草新芽和嫩莖及水藻等為食，可以混養於系統的底部，撿食其他養殖生物的

殘餌及有機碎屑。

(七) 其它

除上述養殖物種外，尚有虹鱒、墨瑞鱈、鰻魚、鱘魚、溪哥、馬口魚、石鱉及筍殼魚等，由於養殖條件較高、成長較慢、市場銷路或容易逃逸等複雜因素，在此不一一敘述其養殖條件，有興趣的讀者可查閱本所出版之臺灣淡水魚類養殖（上、下冊）。

二、環境水質條件

水是魚菜共生系統的主角，養殖動物棲身的場所，也是微生物將養殖動物排泄物分解轉換所在，而作物根系呼吸及吸收養分也需要水體的媒介，因此水質條件對系統的運作極為重要。水質變化不僅會被系統中養殖動物、微生物及植物的吸收排泄左右，更會受周遭環境（日照、氣溫、空氣、降雨及氣壓等）影響。管理人員如忽略水質問題，就會使系統運作受阻，甚或造成養殖物與作物的死亡。需經常監控的系統水質因子如下：

(一) 酸鹼值

pH 是反映水體是否適合養殖物種生長的重要指標，通常水產動物較適宜的 pH 是 6.5－8.5，高於 11 破壞養殖動物的鰓組織，低於 4 則影響養殖生物生理功能、生殖功能和生長速度下降。一般而言，水質偏酸（pH 低）大多是水中有機物含量較高所造成，是水質變壞的表現，可能造成養殖物種的缺氧情形。硝化菌在 pH 6.0 以下不易進行硝化作用，生物濾床的功能大幅減低，導致水中氨的累積，然系統酸鹼偏高則增加氨中毒的風險。另一方面，當水體 pH 過高時，會使礦物鹽沉澱，不利植物吸收利用，植物吸收營養鹽的合適 pH 在 6.0－6.5，而魚菜共生系統理想的 pH 在微酸性到中性，至少應監控維持在 6.0－7.5，低於 5.0 或高於 8.0 是整個生態循環系統瀕臨瓦解的警訊。

(二) 溫度

溫度影響生物體的生化反應，故溫度是維持魚菜共生系統魚菜正常生長的重要因素。不同的養殖動物有其合適的生存水溫，通常在適溫範圍內，溫度越高養殖魚成長越快，但高溫時養殖動物新陳代謝快耗氧量高，應注意水中氧氣的供給。此外，養殖動物對溫度變化也有一定的適應範圍，魚苗期在短時間內溫差應小於 2℃，養成期溫差不宜超過 4℃，否則易因溫度緊迫而抗病力下降或引起死亡。

作物依種類的不同，也有不同的生長溫度，通常適合植物生長的溫度較養殖魚蝦類來的低。作物如處於較低的溫度下，除生長較慢外，一般的生理現象相對穩定；但在高溫高濕的環境中，作物較易發生疫病感染。養殖物種和植栽作物的搭配亦需符合當令的氣候溫度，植栽生長的適溫範圍約為 18－30℃，但蔬菜需視生產季節而不同，如冬季蔬果類 8－20℃，夏季瓜果類多為 17－30℃。

(三) 溶氧

充足溶氧可抑制和減輕氨氮、亞硝酸鹽、硫化氫對養殖動物的不利影響，促進養殖動物食慾、提高飼料利用率和加快生長發育。由於魚菜共生系統同時生產養殖動物與植栽作物，為使動植物都能順利生長，建議溶氧應維持在 5 ppm 以上。若水中溶氧低於

動物所需時，會造成攝餌量低落、活動力下降、甚至浮頭或死亡；而系統中的植物缺氧時，根系會由白皙的顏色轉為黃褐色到黑色，更甚者會造成根系腐爛。

(四) 硬度與電導度

硬度是指水中所含鈣、鎂、鐵、錳等陽離子之總濃度，國際上以碳酸鈣 ($CaCO_3$) 的量 (ppm) 表示，水的硬度值可從軟水小於 55 ppm 到極高度硬水大於 300 ppm，一般建議魚菜共生系統水體的硬度值在 75－150 ppm，而雨水因離子含量較少其硬度值很低，故使用雨水應留意補充鈣、鎂、鐵等。

電導度代表在一定體積水溶液中離子的導電能力，是魚菜共生檢測系統營養的簡易方式，藉由測量電導度來衡量在單位水體中是否有足夠的營養鹽供植物生長。不過，電導度並不能完全闡釋水體營養狀態，因為有機營養無法由電導計所測得。系統的電導度通常會保持在 300－600 μs/cm。

(五) 含氮化合物

氮循環是攸關魚菜共生系統運作的肥分關鍵，養殖動物將所攝食的飼料消化吸收，部分轉化留存在體內做為成長和生理作用所需，未被吸收的部分經代謝後由鰓部、尿液或糞便排放到系統，當然也可能有殘餌直接遺留在系統中。排到系統的未解離氨在水中經化學反應轉換成離子化銨，經生物濾床的微生物之代謝生成亞硝酸鹽，而最終代謝為硝酸鹽。

水中的總氨氮是未解離氨和離子化銨的和，二者間的動態平衡受水溫和 pH 的影響，高溫和高 pH 會使毒性較強的未解離氨濃度增高。養殖動物在總氨濃度 1 ppm 的環境即有中毒症狀，長期處於亞中毒濃度則導致緊迫、神經受損、鰓部發炎、容易罹病及數量漸減；為使魚隻正常成長，建議未解離氨應低於 0.02 ppm。亞硝酸鹽是硝化過程的中間產物，魚養在 0.25 ppm 的環境中就有健康問題，2 ppm 即有棕血症導致血液攜氧不足。硝酸鹽是硝化作用的最終產物，魚雖能耐受 300 ppm 的硝酸鹽，但大於 100 ppm 對魚隻成長和飼料利用有負面影響，而硝酸鹽濃度大於 250 ppm 會使植體生長過旺和累積過多硝酸鹽。

硝酸鹽和銨鹽是常見的植物氮肥，用來做為植體成長及種子養分蓄積之用，魚菜共生系統的植栽對硝酸鹽的吸收較佳，至於移除硝酸鹽的效果則因植物種類和植體大小而異 (Goddek et al., 2015)。整體而言，在功能運轉正常且配有合適生物濾床的魚菜共生系統，總氨和亞硝酸的濃度理想值應幾近於零，或頂多維持在 0.25－1.0 ppm。

飼料與營養

飼料用以維持養殖動物的正常生長、生理代謝、抗病及繁殖等。由於養殖種類繁多對於飼料的偏好或選擇性亦有所不同，且飼料的顏色、氣味、嗜口性、形狀和大小及環境因子等均影響水產動物對飼料的攝食。就魚菜共生系統而言，飼料是整個生產系統的重要環節，投入系統的飼料必需適量，且含有均衡的蛋白質、脂質、碳水化合物、維生素及礦物質等主要營養素。

一、飼料營養需求

(一) 蛋白質

動物利用蛋白質進行生長、組織修復、合成激素和酵素以及作為能量來源等，因而必須不斷提供蛋白質。蛋白質由胺基酸所組成，其中包括十種水產動物無法轉換合成的稱為必需胺基酸，因此討論水產動物對飼料蛋白質需求的前提是胺基酸的組成比例是否符合要求。當然蛋白質需求量會因魚種、體型、飼料蛋白源的營養價值以及養殖環境等而異，大致的範圍約佔飼料乾重的 30－55%；通常，肉食性魚約需 40－55% 的飼料蛋白質，但有些雜食性或草食性魚的最適蛋白質需求也達到 30－40%。同一物種隨著體型增長，蛋白質需求會相對逐漸下降，幼魚需求通常高於成魚。此外，飼料的蛋白質種類與品質，會影響消化吸收的效率。

(二) 脂質

脂質為能量的重要來源，並提供動物生長所需的必需脂肪酸 (在淡水魚為 18:2ω-6 和/或 18:3ω-3)，具有構成生物膜、激素、減少體熱散失、避免物理傷害與促進脂溶性維生素吸收等重要生理功能。飼料脂質含量不足，會導致代謝紊亂和蛋白質利用效率下降，還可能併發脂溶性維生素缺乏症及必需脂肪酸缺乏症；但飼料中油脂添加量過高，易造成過多脂質蓄積於魚體，同時也不利於飼料的貯藏。一般淡水魚飼料的油脂含量大概在 5－15% 即可維持最佳的成長且不會造成過量的體脂堆積。

(三) 碳水化合物

碳水化合物為碳、氫與氧組合而成的化合物，是動物主要的能量來源之一。魚蝦類沒有特定的碳水化合物需求量，但飼料中若缺乏適量的碳水化合物，動物將利用脂質和蛋白質做為能量來源；相反的，若飼料中可消化碳水化合物含量過高，將使肝臟變大而蒼白腫脹。通常魚蝦類對碳水化合物的利用率較陸上動物差，其中淡水或溫水魚類的利用能力較佳，飼料中碳水化合物含量約在 25－56%。

(四) 維生素

維生素雖不是構成動物體的主要成分，也無法提供能量，但在動物體的代謝和生理功能上是必須的，主要以輔酶和催化劑的形式廣泛參與體內代謝的多種化學反應，確保動物體組織器官的細胞結構和功能正常，以維持動物的健康和各種生理作用。維生素通常依據溶解性質分為脂溶性 (如維生素 A、D、E、K 等) 與水溶性 (如維生素 B 群、C、泛酸、菸鹼酸、生物素、葉酸、膽鹼及肌醇等) 兩大類。維生素缺乏會引起代謝紊亂，產生各種臨床缺乏症狀，嚴重影響動物健康和生產效能，嚴重時會導致動物死亡。

(五) 礦物質

礦物質為構成骨骼、細胞與組織的重要成分，並維持身體內的代謝調節、電解質和酸鹼平衡等。動物體無法自身合成礦物質，需由食物中攝取，水產動物則可從環境水中吸收，淡水魚主要由鰓和體表吸收，而海水魚則由腸道和體表吸收。雖從水中可吸收部分的礦物質，但飼料中含量 (如磷及鋅等) 不足時，魚類常會出現生長不良、食慾降低及骨骼變形等異常現象，一般水產飼料會添

加適量的預拌料以提供水產動物足量的礦物質。水產動物所需的主要礦物質為鈣、氯、鎂、磷、鉀、鈉與硫，次要為鈷、銅、鉻、氟、碘、鐵、錳、鉬、鋅與硒，其中除鉻、氟、碘及鈉，其餘皆為植物生理所需。

二、水產飼料的選擇

常用之水產飼料有生鮮餌、粉狀飼料、濕式粒狀飼料、沉性粒狀飼料和浮性粒狀飼料 (圖 6)，各有其優缺點，但沉性粒狀料和浮性粒狀料較利於魚菜共生系統的操作管理。使用浮性粒狀飼料在養殖管理上較容易觀察與清除殘餌，有利於了解養殖動物之攝餌狀態，做為調整餵食量參考或提早發現異狀，沉性飼料則較適合底棲型魚類。

選擇飼料應注意下列幾點：(1)包裝紮實，不可有車縫線不良或包裝袋破裂之現象；(2)飼料成粒良好、顆粒勻稱整齊且外表光滑沒有粉末，呈味要有濃烈的腥香或芳香，硬度適宜，且無發黴現象；(3)考量飼料的水中安定性；(4)營養組成必需均衡，至少須合於國家 CNS 規定；(5)購買不同廠牌的飼料比較其嗜口性及換肉率。



圖 6　幾種常見的水產飼料

魚類的疾病與防治

養殖過程中魚蝦因水質不佳、營養不良及緊迫性高等相關因素，疾病會因此而發生，如魚蝨病、錨蟲病、白點病、水黴菌病、爛鰓及爛鰭等 (圖 7)，初期可能僅造成魚隻不適，如放任不予理會，易造成養殖動物大量死亡，在魚菜共生系統的管理上應多加注重疾病的預防。如果已發病，應儘速洽魚病防治單位確診，對症下藥，以免延誤疫情。

一、錨蟲病

又稱針蟲病或箭蟲病，錨蟲屬於節肢動物，剛孵化的蟲體呈浮游狀態，數日後附著在魚體並鑽入皮層下進行寄生，前端呈錨狀固著，成體數個月後死亡，期間會多次產卵。受寄生的部位會有點狀突起，中心會有一針狀物 (蟲體)；如寄生在口腔內，魚隻會無法進食，最後導致死亡。

二、魚蝨病

魚蝨也是屬於節肢動物，幼生時期漂浮於水體中，成體呈扁葉形寄生在魚體上，常造成魚隻不適而摩擦池壁或跳出水面，企圖使體表蟲體脫落，但反而造成多處傷口，會併發細菌或水黴菌等感染而傷亡。導因於水質不佳或池底蓄積過多有機碎屑所造成。

三、白點蟲病

小型纖毛蟲類所引起，病原蟲寄生於魚類體表，被寄生的魚隻體表黏液增生，覆蓋蟲體而形成白色點狀。嚴重時寄主為去除蟲體多會摩擦池壁，會造成鰓部及體表潰爛，活動力下降及大量死亡。多發生在季節變化時，低溫期尤應特別注意。

四、車輪蟲病

車輪蟲寄生體表及鰓部所引起，常因水質不佳或底質不良，鏡檢時可以看到魚隻體表附著碟型的蟲體，初期症狀與白點病相近，因發病時程快速，如未能及時治療，恐將造成二次感染，嚴重時會導致死亡。

五、吸蟲病

常見的有指環蟲與三代蟲，多寄生在養殖動物的鰓部，叮咬在軟組織上，檢視養殖動物鰓部時會發現黏液增多，寄生部位易潰爛。魚隻在感染初期無特別症狀，嚴重時魚隻常會浮頭，索餌情形不佳，最後併發二次性感染發生潰爛死亡，多因有機物淤積過多所造成，加強移除可有效防治本病的爆發。

六、爛尾爛鰭症

因細菌感染所引起，多發生在魚隻搬運後體力變差時，感染時會從鰭的邊緣開始溶失腐爛，最後發展到身體，終至死亡。如魚隻少時可以用鹽浴的方式治療，但須考量魚隻的耐鹽程度，並將系統中養殖區與植栽區的循環管線斷路，以免影響植栽的成長。

七、爛鰓病

爛鰓病主要原因多由寄生蟲、黴菌或細菌等感染所引起，罹病魚鰓部出現灰白色點狀、浮腫及黏液增多等症狀，嚴重時會有鰓絲潰爛、鰓部軟骨外露、鰓絲變白與黴菌附著等症狀，極易引起死亡。多因養殖環境不佳所引發，預防方式為減少水中固形物的量，增加溶氧及減少魚隻緊迫等。

八、鏈球菌病

鏈球菌是金目鱸、吳郭魚、海鱸、烏魚及條紋鱸等常見的疾病，多發生在夏季或高水溫期。病原屬於鏈球菌屬之格蘭氏陽性球菌，外觀上病魚出現體色變黑、游泳異常、浮游於池面或倦躺於池邊、部分魚隻眼球突出或角膜混濁，部分內臟則有腫大出血的現象。如有發生應速洽魚病防治單位確診用藥，以免疫情擴大。

九、水黴病

是由黴菌感染所造成，以水中腐敗的有機質為營養來源，主要感染養殖動物的表皮、鰓部、傷口或卵，多在養殖動物免疫力


錨蟲


白點


車輪蟲(鄧晶瑩提供)


指環蟲


爛尾


鏈球菌感染(鄧晶瑩提供)

圖 7　幾種常見的魚病

下降時發生，故常見於低水溫期、體表有傷口或有機物過多的系統中。感染時體表可見白色棉絮物，會造成體表潰瘍或鰓絲壞死等症狀，對於食用魚可以鹽浴進行治療。

植栽作物的種類

估計全球至少超過 150 種植栽作物被種植於魚菜共生系統中，包括葉菜類、根菜類、莖菜類、果菜類、漿果類、豆類和花等，從商業角度來看，選擇栽種的物種要在有限面積和最短時間內能獲得最大的收益。植栽的選擇也要依據系統建置位置環境、設施架構、溫度、季節性、植物特性、需肥程度和種植期程來考量 (Somerville et al., 2014)。

一、十字花科植物

本科植物具 4 枚花瓣，大都呈十字對稱而得名，全世界共有 300 屬，2,500 種以上，廣泛散居全球各地，但以溫帶地區較多，對於高溫耐受性不佳及成長不良。臺灣約有 19 種，如大白菜、小白菜、高麗菜、蘿蔔、花菜、青江菜及芥菜等，通常小型的葉菜種類約 4－6 週即可採收。

二、菊科植物

菊科是雙子葉植物中最多屬的一個科，廣泛分布在全世界，熱帶地區種類及數量較少，較適合冷涼氣候栽植。在臺灣常見的萵苣類 (俗名有大陸妹、A 菜、羅曼、萵苣等)、茼蒿及紅鳳菜等皆是本科蔬菜，是魚菜共生系統的入門物種。本科某些作物因具有特殊氣味及苦味不受部分昆蟲喜愛，可以在系統中扮演忌避作物，但在氣候多變的時節，容易發生疫病降低產量。

三、茄科植物

茄科目前已知有 80 屬，約 3,000 種，廣泛分布在熱帶至溫帶地區，例如常見的馬鈴薯、番茄、甜椒、茄子及辣椒等。因較耐熱，且蟲害少，適合系統夏季栽種，但須預防白粉病與病毒病等疫病的發生。

四、葫蘆科植物

葫蘆科是僅次於禾本科、豆科和茄科的重要食用植物，主要分布在熱帶及亞熱帶地區。對低溫耐受度不佳，多於溫暖的季節開花結果，適合在網溫室栽種，但在高溫高濕環境中易感染白粉病，應多加注意。栽植時需架設攀爬網，留意水下根系堵塞進排水口。常見的南瓜、絲瓜、黃瓜、洋香瓜、西瓜、苦瓜及小黃瓜等都是本科的成員。

五、瓣花科植物

本科作物分布於各大洲，最主要產地在美洲及亞洲的熱帶及亞熱帶地區。常見的地瓜葉、空心菜都是本科的一員，也常見於魚菜共生系統，具有易於種植的優勢。

六、香草植物

是指植物的根、莖、葉、花、果實及種子等具有特殊香味，可作為食品、精油及藥劑等，分屬多科如唇形花科、繖型科、馬鞭草科、菊科、芸香科及薑科等。由於具有香氣，常對昆蟲有忌避效用，可與其它科作物混種以減少蟲害。

七、其它

除上述常見作物外，另外尚有番杏科、莧科及禾本科等多種作物被嘗試在系統中栽種，也都有不錯的成果。

作物的營養需求與病蟲害

魚菜共生是利用養殖水產物的「釋出」與栽培作物的「吸收」達成平衡的複合生產系統，基本上投入系統裡主要為飼料和水，其中養殖動物與植栽的營養絕大部分來自飼料，唯現有人工配合飼料皆以魚蝦類生長所需為考量，故對植栽作物會有肥分不均衡或缺乏的現象，除造成植物生長不佳外，也會使植物對於蟲害及病害的抵抗力下降。

一般植物所需的營養素分為主要元素及微量元素等兩大類：

一、主要元素

在植物生長必須的營養素中，碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂及硫等 9 種，因植物成長繁衍過程需求量較大以主要元素稱之。在系統中除碳、氫及氧可自空氣和水獲得，其餘須由飼料經魚類吸收代謝後植物才能獲取，但因水產飼料是專為魚蝦類所開發，所以能排出體外供植物吸收的元素有其限制，例如鉀、鈣、鎂需另外添加，若未及時供應會造成養分缺乏，而有葉色不均及抗病性不佳等現象發生 (圖 8 上)。

氮是否缺乏可由監測水體的含氮量得知，植體的老葉黃化也是警訊，然氮肥過多使植體柔嫩而易染病蟲害。磷是合成生物體 DNA、細胞膜磷脂質和 ATP 的重要元素，缺乏時葉尖焦枯、老葉泛紫、花芽分化受阻與果實偏小且酸；但系統的磷過量時反而和微量元素結合沉澱影響吸收。鉀是魚菜共生系統主要的限制元素，缺乏時植株軟弱，老葉的葉緣或葉肉呈焦枯褐斑，花芽和果實生長不良，需另行添加鉀肥。鈣的缺乏也常見於魚菜共生系統，常造成萵苣的葉尖焦枯和果實類植物的蒂腐。鎂的缺乏在魚菜共生系統中較不易察覺，不過可觀察在莖和老葉間的區域是否有黃化的斑點。

二、微量元素

是指在植物體中含量在 0.01% 以下，且是植物體生長所需的元素，包括銅、鉬、錳、硼、氯、鋅及鐵等元素。雖然植物對這些元素的需求量很低，但缺乏或是過量都會對植物造成影響。微量元素的缺乏與補充請參考植物生理的專書介紹，以魚菜共生系統最常缺乏的鐵作說明，鐵是葉綠體和電子傳遞鏈所需的微量元素，與光合作用息息相關，不足時會形成新葉偏黃甚或變白而老葉仍維持綠色 (圖 8 下)，因此系統有必要補充鐵元素，值得注意的是水體 pH 過高時會使鐵沉澱而不易溶解。



圖 8　辣椒缺鎂(上)和空心菜缺鐵(下)

對於作物養分的補充與否主要依據系統運作的目的而定，魚菜共生因需求的不同而呈現各種型態，如適合居家和辦公場所紓壓用的微型系統，社區綠美化的小型系統，或是農場的量產型系統等。如為量產供應，可適量添加不足的元素，使植栽作物外觀飽滿健壯，以符合市場賣相；或採取部分添加甚至完全不添加，來生產特殊消費群所需的機能性蔬果等。

三、系統常見的蟲害

系統植栽受節肢動物或軟體動物的危害，常使收成的作物外觀破損、易受病原感染甚或全數死亡 (圖 9)，造成很大的損失，因此架設網溫室或以生物防治法控制，以減少蟲害的發生。

(一) 鱗翅目

是指翅膀表面有鱗粉的昆蟲，系統常見的害蟲有白粉蝶及夜盜蛾，白粉蝶對十字花科植物危害性強，而不同的植物種類也常有不同的夜盜蛾危害，可考慮使用蘇力菌防治。

(二) 鞘翅目

常見的甲蟲就是鞘翅目的成員，植栽系統常有其幼生或躲藏在介質中啃食根系 (金龜子)，或於葉面啃食葉片 (金花蟲)。此等蟲類對於植物的偏好性有所不同，如守瓜蟲專門啃食瓜類的幼葉，甘藷龜金花蟲常見於旋花科的地瓜葉或空心菜。

(三) 蟎類

蟎類是小型節肢動物，最大不超過 0.5 mm，不同種的蟎類食性各不相同，系統中常見的葉蟎躲藏在葉片背面，以口器吸食植物汁液，使葉面呈現鏽色斑，多於溫網室濕度較低時大量發生。蟎害不易防治，可以噴灑窄域油、放養捕植蟎或提升濕度防治以降低蟲量。

(四) 蚜蟲、介殼蟲

蚜蟲在春季溫暖潮濕的氣候會大量繁衍，介殼蟲則多發生在秋冬天氣乾燥時，常可在植株上發現牠們的蹤跡。螞蟻為了攝食牠們所分泌的蜜汁，會盡力保護並幫忙搬運移動，造成和蟎類一樣不易防治。可用草蛉、瓢蟲、窄域油、苦蔘鹼或菸葉水 (系統中有栽植茄科作物不可使用，以免感染病毒病) 等防治。

(五) 水生動物

系統水中也有一些動物會危害植栽作物，如搖蚊幼蟲及螺類，兩者皆以系統的藻菌膜、有機碎屑或植物根系為食，大量出現時會破壞菌床或啃斷根系，造成水質變差或植栽凋萎，可在水中放養小型魚類 (如胎生鱂魚) 或青魚幼魚捕食。

四、植物病害

植物的病害是指植物的生理機能或形態結構受真菌、細菌、病毒、類病毒、植物菌質體或線蟲等侵襲而發生異常的現象，顯現於外部型態的改變，如增生、腫大、變色、矮化、萎凋、腐敗及潰瘍等。

病害的發生需具備發病的有利環境、致病原及感病植株等三個條件，有時暴發疫情失控，常須全面耕鋤及消毒。因此，植物移植入系統前應先仔細觀察檢疫甚或消毒，以防止病原入侵；且系統的植栽環境應盡量保持清潔、乾燥及低溫，以減少植物罹病。


紋白蝶幼蟲


金花蟲


水生螺類


葉蟎


蚜蟲


番茄枯萎病

圖 9　魚菜共生系統的植物病蟲害

魚菜共生系統的魚菜比例

魚菜共生系統運作效能的關鍵是魚隻的排放量與植物的吸收量間能否達到最佳比例而定，植物栽種面積不足會導致系統營養鹽的累積，負向回饋影響魚隻成長；而植栽面積過大雖可維持水質，但植物將生長不良而降低產量。通常，系統的魚菜比例是以養殖物種的餵食量為基準來估算作物的栽種面積，即每日給料量比 (feed rate ratio)，以每單位植栽面積 (m^2) 合適的飼料投餵量 (g) 表示。Rakocy 等人 (2006) 在吳郭魚搭配萵苣、香草和其他作物的交錯輪種深水式系統中 (29.3 棵植株/m^2) 推薦以 60－100 g/m^2/day 為宜，若為介質式或薄膜式的給料量比約為深水式的 1/4。而 Al-Hafedh 等人 (2008) 的尼羅吳郭魚與葉萵苣 42 棵/m^2 的深水式系統，認為 56 g/m^2/day 的給料量比可維持系統穩定，但如將植栽減至 25－30 棵/m^2 則葉萵苣的品質較佳。Somerville 等人 (2014) 建議葉菜類作物 20－25 棵/m^2 時，合適的給料量比為 40－50 g/m^2/day，而果實類作物 4－8 棵/m^2 的給料量比則為 50－80 g/m^2/day。

植栽的種植規劃

魚菜共生系統的維運取決於養殖動物、過濾系統和植栽作物之間的長期平衡，因為水產動物的養殖期間較長，如能做好過濾系統的日常維護管理，那麼種植規劃就是系統長期穩定運作的首要因素，例如當大批

植栽作物同時採收以致短時間內水中營養鹽濃度的急驟升高，就會影響系統的穩定性，所以必需對植栽種植和收成事先做好規劃策略。一般水耕蔬菜的栽種收成方式分為交錯輪作 (staggered cropping)、批次收成 (batch cropping) 和間作 (intercropping) (Rakocy, 2012)，交錯輪作是同時栽種不同生長階段的植作，這樣的系統維運方式可定期採收上市規格的植栽，並能使系統水質持續穩定；批次收成的方式則較適於一次性的季節作物或生長期達 3 個月以上的番茄和小黃瓜等作物；間作的方式則是長期作物與短期作物的結合，比如配合番茄和小黃瓜種植的同時栽種短期作物萵苣，在茄瓜生長到足以遮蓋光線前將萵苣採收。

以秋冬季養殖吳郭魚搭配交錯輪種葉菜類試驗為例，養殖槽放養 240 尾總重約 23 kg 的吳郭魚，池水經沉澱槽和毛刷過濾後，流入面積 26 m^2 的浮筏植栽區，給料量比約 34 g/m^2/day 可供應每平方公尺 37 株葉菜類所需的營養。在 6 個月的連續運作過程中，系統交錯栽種多種短期葉菜作物，包括福山萵苣、蜜雪兒白菜、鹿角萵苣、紅緣葉萵苣、直立萵苣、綠寶石萵苣及芹菜等，每週種植 160 株，6 週種滿 960 株葉菜類的水耕床，開始分批採收後再種植，每月約可收穫葉菜 42 kg (圖 10)。

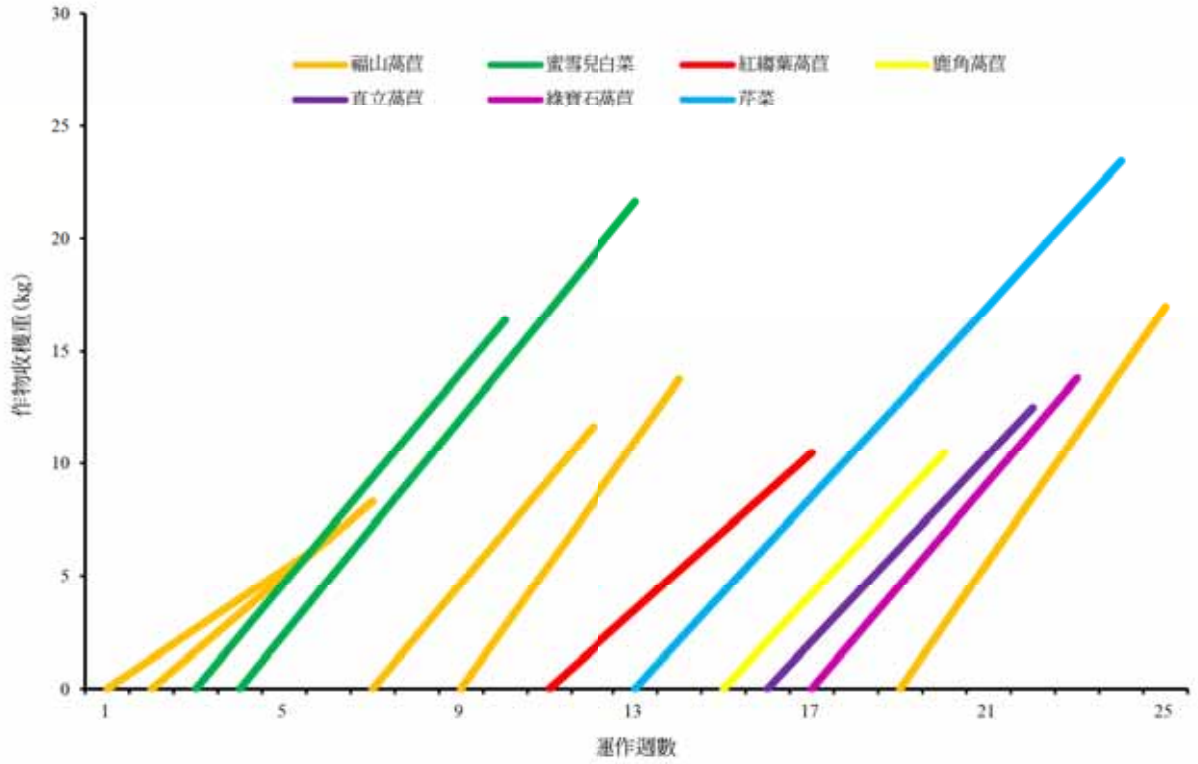


圖 10　系統輪種運作期間作物收穫情形

系統的健康管理

魚菜共生系統需對養殖動物、生物菌床和植栽作物有妥善管理，才能持續運作，尤其是水質管理，營造魚隻健康成長的環境、穩定的生物過濾系統以及植栽順利生長的營養供應，有賴於合適的水質條件為媒介。以下介紹穩定運作的魚菜共生系統所需的日常管理和系統調控，以提供水產動物及栽培作物合適的環境條件，降低病害的機會或減輕疫情，達到有效率和效益的生產。

一、系統操作維護

(1)每日檢查循環系統的供氧設備及抽水設備是否正常。長時間置於太陽曝曬之處或高溫高濕的場所，容易縮短機械的使用年限，影響控制系統的穩定性，可在外部加上外箱保護或是集中於管理室。(2)確保系統的水循環良好，使水體維持足量的溶氧並流動，藉以維護養殖動物、菌床和植物的健康。(3)調節水耕床水位、水量並且留意床架水平，或薄膜式栽種管傾斜角度的準確，避免造成枯萎、缺株或是生長不良之弊病。(4)定植板定期清洗消毒，若不維護或更新，很容易造成青苔滋生，間接引起根腐病等疫病。(5)定期清洗各槽體、水管管路、水流通道等，以避免系統阻塞。(6)清洗生物濾床及介質，避免阻塞孔洞影響硝化作用的效能。(7)介質耕若利用鐘型虹吸自動週期性的進排水，因經過長時間沉浸下容易造成排水管徑變小，須定期清洗以避免植栽床水位失控。(8)在陽光充足的場域，水中容易滋生藻類，會與水耕植物競爭吸收營養、可能加大系統的日夜 pH 波動及夜間增加系統的耗氧，絲藻更會阻塞水流管道和附著根部影響植栽的營養吸收。

二、養殖物種管理

(一) 投餵管理

(1)遵守四定（定質、定量、定時、定位）和三看（看天氣、看水質、看魚況）的投餌原則。(2)投餵量依不同的養殖物種、體型、水溫及溶氧等估計每日投餵量，通常成魚每日投餵量約體重的 1－3%，幼魚每日投餵量約體重的 5－8%，以少量多餐為主。(3)池魚放養密度不宜過度擁擠，至於魚類和植栽作物的比例需依飼料投餵量和品質而定。(4)颱風前夕、悶熱無風、大風暴雨、寒流襲擊、搬池、出售前或是罹病時應減少投餵或停餵。(5)投餵後應仔細檢查攝食情況，控制投飼量達到「八分飽」為宜，保持魚隻有旺盛的食慾，可以提高飼料效率。尤應避免過度餵食，並應清除殘餌以免危害養殖動物且導致系統失衡，不僅增加耗氧也容易引起疾病。

(二) 水質管理

(1)溫度：水溫是影響養殖物種新陳代謝最主要的因素，對攝食量影響更大，一般在適溫範圍內隨溫度的升高而增加。魚菜共生系統適宜的溫度範圍為 18－30℃，溫度過高或過低影響系統正常運作，高溫易造成低溶氧與較多的未解離氨並抑制植物對鈣的吸收。可加裝溫度控制裝置，但需考量所耗能量與成本。(2)溶氧：系統中的養殖動物、硝化菌與植栽作物都需要耗氧，可由製造水流或打氣設備提供，可設置斷電警報器

及緊急供氧設備，使系統有充足溶氧。(3)酸鹼值：系統 pH 以維持在 6.0－7.5 較佳。長期穩定運作的系統往往會有 pH 偏低（酸化）的現象，可用鉀鹽（如氫氧化鉀或碳酸氫鉀）和鈣鹽（如氫氧化鈣熟石灰或碳酸鈣）交互使用加以調整。(4)營養素：作物所需的營養可透過調整系統 pH 時來進行添加補充，例如鈣和鉀之補充是經由加入的氫氧化鈣、氫氧化鉀、苦土石灰、草木灰、蛋殼及蚵殼粉中取得，鐵則是透過添加螯合鐵來獲得。另一方面，若所栽培的是果樹或其他較長期的作物（例如根莖類或花卉等），則需考量不同作物成長或結果時所需要的特定元素。(5)含氮化合物：定期檢測水體亞硝酸鹽和硝酸鹽濃度，如系統的溶氧量不夠高則檢測頻度應增加；而總氨氮最好能每週測定，新建置系統的硝化菌床未臻穩定，總氨氮濃度容易偏高。一般簡易的檢測試劑（紙）能約略量測水體的總氨氮，至於未解離氨的比例以 26℃中性環境約佔其 1% 計算。(6)光線：生物濾床的光線不宜過強，以免抑制硝化菌生長，影響過濾水質效果，可使用遮光網或是帆布遮蓋，避免光線進入槽體。

(三) 魚病防治

(1)養殖魚類在冬季容易發生水黴病，入冬時首需注意氣象預報，特別注意寒流來臨前後之應變，依氣候進行管理措施，調整投餌頻率及餵飼量，並儘量不要撈捕池魚以免體表受傷感染病害。(2)春、秋兩季為季節交替時期，好發寄生蟲疾病，應加強系統管理工作，並減少水中有機物累積。(3)夏季氣候炎熱，應適時加強打氣，以免魚隻缺氧浮頭。此外，颱風多見於夏、秋兩季，應做好防颱措施，大雨來臨或過後，應注意水質變化過大。

(四) 魚病診斷

早期發現與早期治療，能使病害影響降至最低，發現病魚時須立即隔離處理；每日隨時觀察魚隻養殖情況，例如攝餌量、游泳狀況等，外表觀察的重點分別為魚隻體型狀況、軀體外觀及鰓部鰭部等，記錄養殖期間的水質變化。病魚外觀觀察內容：(1)魚隻體型：腹部是否發生異常膨大，魚體肥滿或消瘦（如慢性疾病），軀體是否發生不正常彎曲（中毒或營養長期不均衡皆會造成魚體彎曲）。(2)魚體外觀：體色變化情形，如變白或變黑，魚眼發生白濁或眼球凸起。體表如寄生水黴菌時外觀呈現水泡狀或疙瘩狀。體表是否出現大量黏液及鱗片脫落。魚體皮膚是否出現潰傷症狀，鰭部是否發生潰爛出血，肛門是否出現紅腫膨大凸出等症狀。(3)鰓部：有無不正常變紅、變白或部分變色。鰓絲是否有缺損或黏液增多，污物附著其上。

三、作物栽培管理

(一) 作物種類的選擇

做好植栽作物的健康管理，包括病蟲害防除、最佳營養供應、良好的栽培技術及合宜的環境管控等，才能讓系統運轉正常，維持良好的水質環境。因此，篩選抗病、蟲害較少的優良品種，並慎選健康的種苗及挑選當季水耕栽培之作物（表 1），即是系統運作規劃的重要步驟。

表 1　各季節適合栽種的作物種類參考

季　　節	作　　物　　種　　類
夏	白菜、空心菜、青江菜、莧菜、青椒、辣椒、秋葵、皇宮菜、地瓜葉、青蔥、苦瓜、絲瓜、九層塔
春秋	白菜、空心菜、青江菜、小松菜、芥蘭菜、莧菜、萵苣、油菜、芹菜、小黃瓜、青椒、辣椒、秋葵、番茄
冬	茼蒿、芹菜、萵苣、甘藍、菠菜、芫荽

植栽作物依其需肥量高低大致分為像葉菜類和香草植物等的低需肥量作物，包括萵苣、芝麻菜、羅勒、薄荷、香菜、青蔥、歐芹、小白菜、地瓜葉、空心菜及豆科植物等；中需肥量作物包括甘藍類和鱗基植物，如羽葉甘藍、花椰菜、青花菜、大頭菜、芋頭、洋蔥、胡蘿蔔和蘿蔔等；高需肥量作物主要為果菜類，如番茄、茄子、小黃瓜、草莓和辣椒。

(二) 植物栽種

植物栽種的方式有播種、扦插和分枝等方式，依植物特性和操作的實際需求而異，通常由育苗場購入較為便利，但需留意苗的健康和檢疫。植物需有合適的光線、氧、二氧化碳、酸鹼值、溫度和營養鹽才能正常生長和抗病，系統開始運作的前幾個月如發現植栽不太健康，應檢查上述各因素是否正常，一般是水中營養鹽不均衡所致，更可能是酸鹼值的問題。

(三) 病蟲害防治

一般土耕或水耕的植物病蟲害也會發生在魚菜共生系統，但為避免毒害養殖動物和影響系統菌相，植栽作物的病蟲害防治不應使用化學農藥，基本上可參考有機農法的防治原則。(1)噴灑蘇力菌或白僵菌等微生物製劑，能有效防治小菜蛾、夜盜蟲等有害昆蟲。(2)利用昆蟲的趨色性黏貼誘蟲黏紙，無農藥殘留之虞，蟲類也不會產生抗藥性。(3)運用植物性的有機混合物來降低或避免病原的威脅，如葉噴大蒜液、辣椒水、菸草液、柑橘皮汁和草木灰等，但魚藤和茶粕對魚類具有毒性，不建議在魚菜共生系統使用；肥皂液和乳化油類也有殺蟲效果，但不宜有太多流入水體，以免破壞鰓部細胞膜結構而傷害養殖動物。(4)利用天敵防治害蟲，主要分為捕食性及寄生性兩大類，捕食性天敵以瓢蟲、草蛉、螳螂及椿象較常被利用，寄生性天敵以寄生蜂和寄生蠅為主。(5)性費洛蒙具無毒性、種別專一性及微量即有效之特性，且能緩釋揮發在田間誘蟲持續 1－6 個月，已被商業化運用在大量誘殺或交配干擾來防治害蟲。(6)利用大型風扇或是天窗的設計控制溫室內部環境濕度，並且配合不同作物、季節來進行調控，以免蒸散作用不足，而形成濕度過高、病害滋長或部分離子的吸收不良，造成各種生理症狀。(7)溫室周遭適度修剪整枝，維持溫室內日照充足與通風良好，走道鋪設水泥、碎石子或塑膠地墊等來提高作業環境的清潔，隔離與土壤接觸機會，減少病蟲害攀附。

結論

魚菜共生是近數十年發展出來的循環生產體系，與傳統農法和養殖方式相較，可減少農業廢棄物的產生和降低對環境的衝擊，並可透過植栽作物吸收同化養殖排放的有機肥分，有助於減低化學肥料的使用。再者，系統用水有 95% 以上是循環使用，耗水量也遠少於大部分的水產養殖和農作方式，並且是在有限的土地空間裡同時生產水產品和農作物 (Tyson et al., 2011)。由於強調資源永續利用和互補優勢，FAO 在 2016 世界漁業和水產養殖現況 (SOFIA) 一書中，將魚菜共生這種複合型農業生產方式列為重要的研發趨勢。

目前國際上已有許多國家地區開發魚菜共生的生產模式，但多以植物的觀點切入，若由水產養殖的觀點來看，魚菜共生應該整體考量的包括養殖動物的攝食與消化吸收、細菌的分解效能和植物的吸收成長，而如何維持系統環境中這三種生物的平衡，以最少的投入、污染和廢棄物得到最大的效能、收益和永續性，將是一個持續研究和改進的課題。

附註：本文節錄自水產試驗所技術手冊 11，養殖水耕－魚菜共生 (2017)，56 pp。

參考文獻

Al-Hafedh, Y. S., A. Alam and M. S. Beltagi (2008) Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. J. World Aquacult. Soc., 39: 510-520.

FAO (2016) The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2016. Contributing to food security and nutrition for all, Rome, Italy, 200 pp.

Goddek, S., B. Delaide, U. Mankasingh, K. V. Ragnarsdottir, H. Jijakli and R. Thorarinsdottir (2015) Challenges of sustainable and commercial aquaponics. Sustainability, 7: 4199-4224.

Junge, R., B. König, M. Villarroel, T. Komives and M. H. Jijakli (2017) Strategic Points in Aquaponics. Water, 9: 182; doi:10.3390/w9030182.

Rakocy, J. E. (2012) Aquaponics-integrating fish and plant culture, *In* Aquaculture Production Systems (J. H. Tidwell, ed.), World Aquaculture Society, John Wiley & Sons, Inc., 343-386.

Rakocy, J. E., M. P. Masser and T. M. Losordo (2006) Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Southern regional aquaculture publication, No. 454.

Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella and A. Stankus (2014) Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper No. 589. FAO, Rome, Italy, 262 pp.

Tyson, R. V., D. D. Treadwell and E. H. Simonne (2011) Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. Hort Technol., 21(1): 6-13.

漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：29-38, 2020

創新魚菜共生系統之多元利用

黃德威、鍾永廷、劉恩良、楊順德
行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

摘要

一般魚菜共生系統為方便管理，多以養殖單一水產物搭配栽種短期葉菜類進行生產；但因系統生產物種過於單調，某一環節發生物種或數量變動，就可能會使系統生態發生失衡。因此，本研究團隊進行下列相關研究：不同植栽密度、不同植栽組合及系統加養觀賞蝦類對系統生產與營養元素的影響等三項試驗，藉由這些試驗以探究魚菜共生系統多元化生產的可行性。上述三個試驗過程中，水體中含氮物的濃度均能維持在水產動物適合生長的範圍。在不同植栽密度試驗結果顯示，每單位飼料量所生產的萬苣產能，以每平方公尺栽種 38 棵組較 19 棵組高，且 38 棵組的水中氮和磷的濃度略低於 19 棵組。在不同植栽組合試驗之結果發現，系統加種絲瓜不會影響養殖魚類的生長，且對於水體中磷的吸收有較好的表現，同時可以提升植物生產量。由上述試驗結果可發現，多元栽種不同植栽可提高系統的營養鹽利用率並提升系統產能。另外，為增加養殖動物的豐度，在系統中養殖觀賞蝦，對於底泥中的有機物具有再利用效益，可降低底泥的蓄積。依據本文三個試驗結果顯示，魚菜系統中增加生物豐度，不會影響整個系統的運行，且有助於增加營養鹽的利用，此篇的結果可供魚菜共生愛好者參考運用。

關鍵詞：魚菜共生、養殖水耕、植栽組合、植栽密度、營養鹽再利用

前言

近年來全球人口增加，在有限的資源下，必須有效利用環境資源，如水資源方面，臺灣的年降雨量雖充足，但因地形陡峭、河川短淺，故能利用的水資源受到限制。而水產養殖業因技術發展與腹地有限的情況下，多採用高密度集約式養殖模式，但養殖密度越高，所需用水量就越大。近年來環保意識抬頭，為提高水資源的利用效率，逐漸發展出低（零）換水的養殖方式，如循環水養殖及魚菜共生（aquaponics）等，這些方式皆能有效的利用水資源。其中魚菜共生系統中水蒸散率每日約 0.05－5%，不同的氣候溫度、養殖桶與植栽床的空間比例及栽種的植物皆會影響蒸散率，換言之，超過 95% 的水可循環利用；此外，魚菜共生用水量也較傳統的農業減少 10% (Maucieri et al., 2018)，因此不論就農業或者水產養殖而言，魚菜共生系統可顯著提升水資源的再利用率。

魚菜共生系統的原理，是利用水產養殖動物所排放的代謝物，經微生物轉化代謝後，將具有毒性的氨氮經亞硝化及硝化作用

轉變成硝酸鹽，再將系統水體導入植床，利用水培的方式種植蔬菜，硝酸鹽對於蔬菜而言是相當重要的肥分之一，富含硝酸鹽的水體經植物吸收後，淨化的水質再導回養殖池中。而根據本團隊先前的研究發現，在魚菜共生系統中，如果以飼料中的營養鹽當作唯一來源，其中氮和磷分別約 30－40% 可被水產養殖動物及作物吸收 (圖 1；黃等，2017)，如何以不同方式來提高系統中營養源的利用是值得探討的問題。例如：(1)固定投餵量，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%，且菜收成可提高 11% (Liang and Chien, 2013)；(2)額外添加硝化菌 (Zou et al., 2016)；(3)介質的選擇 (Zou et al., 2016)；(4)降低 pH 值 (Zou et al., 2016)；(5)引進藻菌模式系統 (Fanga et al., 2017) 等方式，這些皆可增加整個系統的氮利用率。而在磷的利用上，也發現隨著系統運行時間增長，水中的磷酸鹽會不斷累積，雖然磷酸鹽對於植物來說，是生長所需的基礎營養元素，如根的發育及植物開花和結果皆與磷需求有關。本團隊先前的研究也發現在魚菜共生系統中，飼料中約 34% 和 5% 的磷可分別被養殖動物和葉菜類所吸收 (圖 1；黃等，2017)，其餘的會釋放於系統中，且磷不像氮源會被轉化成氣態散失，但會形成沉澱物，當系統定期清整時，會隨著底泥的清除被移除到系統外 (Rafiee and Saad, 2005)；Yogev 等 (2016) 也提及整體系統中的磷無法被有效利用，但仍視栽種的植栽以及系統的運作模式之差異，吸收效率會有所不同。不論是氮或磷，在魚菜共生的相關研究仍處於起步階段，未來需進行更多有關不同類型動植物，諸如食用及觀賞用之魚蝦和草本、木本及藥用植物在系統栽種相關之研究，才更能提升系統的循環利用效能及多元化生產，以提升魚菜共生系統的產能。因此，本篇以不同植栽密度、不同植栽組合及增加物種豐度的情況下，探討系統中的營養鹽利用效率及系統的穩定性。

不同植栽密度對系統生產與營養元素的影響

為探討系統中栽種不同植栽密度對於系統之影響，利用養殖雜交種吳郭魚 (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*)，養殖密度為 20 kg/ton，搭配栽種不同密度 (38 與 19 棵/m^2) 的福山萵苣 (*Lactuca sativa*) 進行為期 6 週的試驗。結果顯示，以單位栽種面積日投餌量 32 g 養殖吳郭魚，試驗結束時低植栽密度與高植栽密度組的菜收穫量分別為 82.3 與 147.6 kg，每公斤飼料可分別生產 2.1 與 3.6 kg 的萵苣，期間水質條件無明顯不良，但高植栽密度組水中氮和磷的濃度略低於低植栽密度組 (表 1)。由每單位飼料量可生產的萵苣重量計算，高植栽密度組有較佳的生產效能。對於系統運作時須餵飼多少飼料，才能提供足量的營養鹽供植物正常成長，不同系統與生物組合所得建議值如下：以深水式系統養殖吳郭魚搭配香草、萵苣和其他作物 (29.3 棵植株/m^2)，建議投餌量以 60－100 g/m^2/day 為宜 (Rakocy et al.,

2006)；生產葉萬苣 (42 棵/m^2) 與尼羅吳郭魚的深水式系統，以 56 g/m^2/day 的給料量可維持系統穩定，但栽種密度降到 25－30 棵/m^2 時葉萬苣的品質較佳 (Al-Hafedh et al., 2008)；又有研究團隊建議葉菜類作物 (20－25 棵/m^2) 適合的給料量為 40－50 g/m^2/day，而果實類作物 (4－8 棵/m^2) 的給料量則為 50－80 g/m^2/day (Somerville et al., 2014)。

表 1　吳郭魚搭配不同栽種密度福山萬苣生產情形

萬苣栽種密度	19 棵/m^2	38 棵/m^2
魚隻放養總重(kg)	73.2	71. 6
魚隻收成總重(kg)	104.0	99.0
魚隻增重(kg)	30.8	27.5
投餵飼料量(kg)	39.1	40.9
飼料效率(%)	78.8	67.2
植物收穫量(kg)	82.3	147.6
植物收穫量/飼料投餵量	2.1	3.6
水中總氮濃度(ppm)	20.2	18.6
水中總磷濃度(ppm)	9.4	7.1

系統配置為 1.2 公噸養魚槽 3 個、1.2 公噸沉澱槽與過濾槽各 1 個、深水式植栽床面積 28 m^2

不同植栽組合對系統生產與營養元素的影響

本團隊過去的研究顯示，系統中氮及磷鹽類僅 30－40% 被水產動物與短期葉菜類所吸收 (圖 1)，其餘則以不同形態散布在系統中，在系統中多元化種植不同植栽，包括鹿角萬苣、青蔥、小白菜及紅緣葉萬苣，系統可穩定運作，植栽作物生長也不受影響 (圖 2)。另外，由於絲瓜的根群屬中等的淺根，耐濕性在瓜類最強，最適 pH 值在 5.8－6.8，雌花始花期後須肥量增加 (戴等，2006)，因此，可栽種於魚菜共生系統中，以提高對系統氮、磷之利用。為探究系統加種絲瓜的組合對於水中氮、磷等營養鹽之吸收情形，以養殖密度為 20 kg/ton 的雜交吳郭魚 (*O. aureus* × *O. niloticus*) 循環水體中所產生的營養鹽類種植小白菜 (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis* Jusl.) 與秋葵 (*Abelmoschus esculentus*)，試驗組加種絲瓜 (*Luffa cylindrica*) 進行為期 8 週試驗 (圖 3)。比較表 2 中兩組魚隻收成結果，試驗組

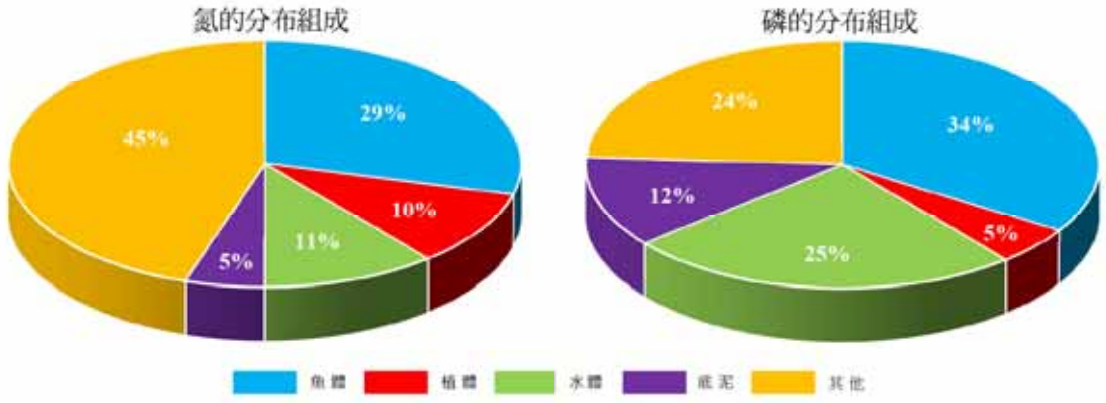


圖 1　飼料投入系統中的氮、磷分布組成



圖 2　魚菜共生系統中多元化種植的植栽



圖 3　魚菜共生系統中加種絲瓜

總增重與對照組差異不大，而兩組飼料效率約 60% 亦無差異，顯示系統加種絲瓜對於魚隻成長及飼料的吸收利用並無影響。又檢視整體植物收成量，試驗組平均 92.5 ± 11.6 kg 較對照組 58.9 ± 10.4 kg 高，且每單位飼料投餵量可收成之植物重量也是試驗組較高（試驗組 3.49 ± 0.4，對照組 2.48 ± 0.0），表示系統增加栽種絲瓜能提高系統植物收穫量。而在二者的水體中總氮濃度相差不多。一般魚菜共生系統中的磷多形成植物不易吸收利用的型式，這導致植物生長不良，而這也和系統的水質如 pH 值等有關（da Silva Cerozi and Fitzsimmons, 2016）。本試驗總磷濃度則是試驗組低於對照組，顯示加種絲瓜對於系統中磷的吸收有較佳的表現。因此，系統中增加種植絲瓜，除可提升產量與增加系統生產種類的多元化，且對於水質穩定有不錯的表現。

系統加養觀賞蝦類對系統生產與營養元素的影響

如前言所述，系統中不管在氮或磷的利用率上，皆尚有可被利用的空間，如增加系統的生物多樣性後，提高物種間的交互作用，或許可使系統穩定性越高。另外，傳統魚菜共生系統在養殖魚種和植栽作物雖有不同的搭配組合，但其單位產值仍有限。因此，本次試驗在物種選擇上，考量到極火蝦（*Neocaridina denticulate sinensis* var. red）的生物特性，可清除水中的附著藻類以及殘餌，作為魚缸中的清道夫，藉此評估可否提升系統的穩定性。本次試驗養殖極火蝦以及種植水草小海帆（*Echinodorus horizontalis*）於魚菜共生系統中，藉此增加系統產值，並評估可否增加整體系統營養鹽的利用。本次試驗養殖雜交種吳郭魚（*O. aureus* × *O.*

表 2　吳郭魚搭配不同植栽組合在魚菜共生系統收成量之比較

組別	栽種種類	
	小白菜、秋葵	小白菜、秋葵、絲瓜
魚隻放養總重(kg)	22.5±1.0	19.3±1.0
魚隻收成總重(kg)	36.8±1.2	35.7±1.1
魚隻增重(kg)	14.3±2.2	16.4±0.1
投餵飼料量(kg)	23.8±4.4	26.5±0.6
飼料效率(%)	60.3±2.1	62.0±1.9
植物總收成量(kg)	58.9±10.4	92.5±11.6
植物總收成量/飼料投餵量	2.48±0.0	3.49±0.4
水中總氮濃度(ppm)	5.7±2.7	6.0±1.7
水中總磷濃度(ppm)	5.2±4.8	3.7±1.5

系統配置為 1.2 公噸養魚槽 1 個，1.2 公噸沉澱槽及過濾槽各 1 個，植栽面積 28 m^2

niloticus) 密度 20 kg/ton，為期 4 週，試驗期間魚隻無任何死亡，在系統的運作、水質的變化影響及養殖動物與作物生長方面，實驗組與對照組皆無差異 (表 3)，各組系統溶氧維持在 5－7.2 ppm，pH 值則維持在 6.5－7.8。而觀賞蝦放養密度 400 尾/ton 及 800 尾/ton，其觀賞蝦平均每尾增重分別為 68.8 ± 6.0 及 53.0 ± 9.2 mg (表 3)。測量植栽床的懸浮固體量和系統生成的底泥量，可發現有加養觀賞蝦的組別底泥蓄積量較低，尤其養殖觀賞蝦密度較高的 800 尾/ton 組，明顯低於對照組，另外，在底泥的含氮量及含磷量上，養殖 800 尾/ton 組顯著低於對照組，而養殖 400 尾/ton 組只有在含氮量上，顯著低於對照組 (圖 4)。故在系統中養殖觀賞蝦，對底泥中的有機物具有再利用效益。Lima 等人 (2019) 在魚菜共生系統中養殖沼蝦 (*Macrobrachium amazonicum*) 並栽種萵苣進行效益評估，結果指出在適當的養殖密度下，系統養殖蝦類並不影響作物的生長。

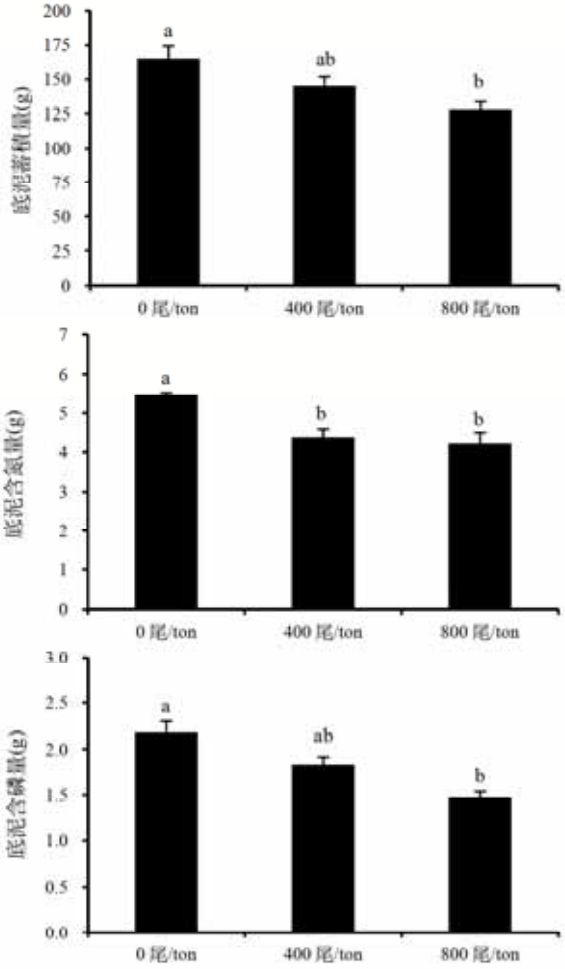


圖 4 系統加養觀賞蝦減少底泥、氮及磷的蓄積

表 3 吳郭魚、水草及觀賞蝦之魚菜系統的收成量比較

極火蝦放養密度	0 尾/ton	400 尾/ton	800 尾/ton
魚隻放養總重(kg)	10.5±0.4	10.3±0.2	10.3±0.1
魚隻收成總重(kg)	11.5±0.5	11.4±0.4	11.3±0.1
魚隻增重(kg)	1.0±0.1	1.1±0.2	1.0±0.1
飼料效率(%)	52.0±2.8	54.7±8.9	49.7±4.8
極火蝦放養總重(g)	-	31.3±1.6	57.6±4.5
極火蝦收成總重(g)	-	58.8±0.8	100.0±2.8
極火蝦增重(mg/尾)	-	68.8±6.0	53.0±9.2
水草總收成重(g)	3483.0±434.2	3364.5±914.3	3342.5±457.5
水草增重(g/棵)	33.1±3.7	31.2±8.3	31.2±3.9

系統配置為 500 L 養魚槽 1 個，200 L 沉澱槽及過濾槽各 1 個，植栽面積 2.8 m^2

最近，Martins 等人 (2020) 則在系統中同時養殖尼羅吳郭魚 (*O. niloticus*) 和白蝦 (*Litopenaeus vannamei*)，控制水中的碳、氮比例，比較系統中有無添加生物絮團，對於養殖生物及植栽的收穫評估，結果顯示，系統中有效的控制碳、氮比，有助於養殖動物的生長，並且有添加生物絮團的組別，底泥的生成量減少，作者推測系統中的營養鹽被轉化成養殖動物能利用的形式，因此減少了底泥的蓄積。而系統中底泥再利用方面的研究，也有許多文獻提及，像是系統中厭氧或好氧處理，發現好氧環境下，底泥中的營養鹽更能有效的被釋出，如磷酸鹽類經好氧處理後，相較對照組，水中可溶性的磷增加 3.2 倍，且並不因好氧處理而降低水中硝酸鹽的濃度 (Monsees et al., 2017)，使得植栽更能利用這些營養鹽；Zhang 等人 (2020) 利用一些生物濾材，如陶瓷環、玉米秸稈及小麥秸稈混合，作為過濾介質，能有效的將魚菜系統中的固形物分離並轉化成營養鹽，如魚體排泄物中的鈣及鎂離子能有效的回收利用。綜合本試驗結果與近年來的研究文獻顯示，有許多方式皆可提高系統的營養鹽再利用率，往後可望整合各研究結果，優化傳統魚菜共生系統，提升系統的產能及產值，達到資源循環再利用的目的。

觀賞水族與香草植物之共生系統

觀察不同國家地區的飲食文化，西方國家食用生菜較食用魚普遍且頻率高，因此魚菜共生以蔬菜為主產品，魚為副產品，魚菜共生所生產的食物，尤其是蔬菜，不論量與質都能與市場需求契合，這點對於產業的發展是有利的。而在華人的市場中，魚菜共生多是以植物淨化養魚的水為主要訴求，並不以蔬菜生產來獲利 (陳與梁，2016)。若要發展商業化需改變營運模式以多元運用提升系統產能與產值，可考慮產值較高的非食用性魚介類與植物，如觀賞魚、觀賞蝦、香草植物或藥用植物等。

魚蝦類不管是淡水或海水，可不可食用，只要可滿足觀賞與休閒之用途，即為觀賞魚蝦。因有別於食用之用途，其被附加其他療癒身心的功能，因此，價格往往較食用魚為高。例如常見的錦鯉 (圖 5 上)，因可作為庭院造景之用，其身價往往萬元起跳。而觀賞蝦類因顏色艷麗造型特殊 (圖 5 下)，且能協助清理水族箱中的有機碎屑與藻類，頗受觀賞水族界的歡迎，因個體小重量輕，若換算以重量計價，每公斤常高達數千元以上。魚菜共生系統除可以作為食物生產之外，同時可以作為休閒觀光與食農教育之用，利用觀賞魚蝦的特質，吸引群眾的目光，提升魚菜共生的附加價值。另外，植栽方面除了一般的葉菜類，也可種植具有香味的香草植物，一般具特殊香味的植物，其部分組織所含有之成分，可供人類作為食物添加之香料、藥用、美容效用或其他用途。例如歐洲常見種植於魚菜共生系統供作食材的薄荷、羅勒、紫蘇與金蓮花等 (Buzby and Lin, 2014; Shete et al., 2017; Ferrarezi and Bailey, 2019)。香草植物因具有芳香物質，



圖 5　魚菜共生系統可養殖觀賞魚蝦，例如錦鯉(上)、極火蝦(下)

可以舒緩身心，又因具有特殊風味，可以作為食品添加以提升食物附加價值。除部分種類因原生環境較乾燥，不適合種植於魚菜共生系統，多數皆可運用介質而栽植在魚菜共生系統中。某些植物含有益的成分，但因原生環境破壞與氣候變遷造成品質低下及污染，以及人為野採運用致使數量減少甚或消失 (林等，2009)。可考慮在魚菜共生系統中栽植，利用其原生環境的需求，生產較高價位的水生藥用植物，如 Ferrarezi and Bailey (2019) 提及，香草植物具有廣泛的市場，除觀賞外還可當作藥材、烹飪香料或者提煉精油，以羅勒為例，羅勒品系超過 30 種，如甜羅勒、檸檬羅勒、灌木羅勒、紫葉羅勒和泰國羅勒等，不同種類具有不同的經濟價值，像是紫葉羅勒能夠提煉花青素，而花青素經濟價值高，具有抗氧化功能，因此以魚菜共生系統種植五種不同的羅勒，包括熱那亞羅勒、檸檬羅勒、紫葉羅勒、紅魯賓羅勒和辣球形羅勒，並養殖吳郭魚，評估在熱帶地區栽種羅勒的效益，結果發現依據實驗系統、地理位置及氣候環境，連續栽種兩個季節，其中熱那亞羅勒和辣球形羅勒具有最佳的收穫量。總結上述，本中心也嘗試養殖觀賞魚並種植香草植物，而大部分傳統魚菜共生系統的造型無法符合景觀農業的需求，因此，設計開發景觀與利用兼具的系統，模擬 DNA 雙股螺旋的外型 (圖 6)，具有亮麗的外觀以及增加空間的可利用性，並養殖白玉蝴蝶鯉，種植百里香、迷迭香、羅勒及薰衣草，可擺設於大樓中廊、校園及醫院大廳等地方，供人觀賞，可符合景觀農業需求。

魚菜共生的複合式生產模式符合環境友善與生態和諧，但因相關資訊不足，使得整體發展緩慢，如何使其生產效能高於傳統或現有的生產系統，或是如何使產品在市場上產生區隔，將是後續研究的重點。



圖 6　DNA 雙螺旋魚菜系統

結論

氮在植物代謝與生長上扮演關鍵性的角色（張，1981；柯，2002），但是對於水產動物而言，水體中的氨氮與亞硝酸鹽類，卻會造成毒性或生長緊迫。上述三個試驗過程中，水體中含氮化合物質的濃度均能維持在水產動物適合生長的範圍。在不同植栽密度試驗結果發現，改變福山萵苣的栽種密度，可以提升系統產量，但對水質影響不大，是由於福山萵苣對於肥分需求較低（楊，2017），就氮及磷鹽類而言，系統種植福山萵苣的面積可再增加，或選擇性搭配栽種中、高肥分需求之植栽。例如，在不同植栽組合試驗中，發現加種絲瓜會使系統植物收成總量增加，應與絲瓜會攀藤生長，擴充植株生長的立體空間有關，且此系統水中的磷鹽類濃度低於未種絲瓜組，應與絲瓜開花時需較多磷肥有關，然對於植物生長有關的其他微量元素是否充足，需待日後進行相關試驗方能瞭解。而在系統增加養殖觀賞蝦的試驗結果發現，系統中的觀賞蝦對底泥中的有機物有再利用效益，可降低底泥的蓄積。經由以上這些魚菜共生循環系統的研究結果得知，增加生物豐度，不會影響整個系統的運行，且有助於增加營養鹽的利用，達到循環再利用的目標，並創造更高的附加價值，可提供未來一個新興的養殖技術及方向。

參考文獻

林宜信、黃冠中、張永勳 (2009) 臺灣水生藥用植物圖鑑。行政院衛生署中醫藥委員會，131 pp。

柯勇 (2002) 植物生理學。藝軒圖書出版社，762 pp。

張仲民譯、麻生末雄、麻生昇平、松崎敏英 (1981) 作物之營養與肥料。徐氏基金會，188 pp。

陳瑤湖、梁榮元 (2016) 魚菜共生體系發展研究與展望。農業生技產業季刊，46: 43-51。

黃德威、薛守志、劉于溶、楊順德 (2017) 養殖水耕－魚菜共生。水產試驗所技術手冊 11，56 pp。

楊清富 (2017) 魚菜共生系統之原理與應用方法。臺中區農業改良場特刊，第 133 號，63-80。

戴順發、黃祥益、陳昱、陳明陷 (2006) 絲瓜栽培及病蟲害防治技術。高雄區農技報導，第 73 期，25 pp。

Al-Hafedh, Y. S., A. Alam and M. S. Beltagi (2008) Food production and water conservation in a

recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. J. World Aquac. Soc., 39: 510-520.

Buzby, K. M. and L. S. Lin (2014) Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. Aquacult. Eng., 63: 39-44.

da Silva Cerozi, B. and K. Fitzsimmons (2016) Use of *Bacillus* spp. to enhance phosphorus availability and serve as a plant growth promoter in aquaponics systems. Sci. Hortic., 211: 277-282.

Fanga, Y., Z. Hua, Y. Zoua, J. Zhanga, Z. Zhua, J. Zhangb and L. Niec (2017) Improving nitrogen utilization efficiency of aquaponics by introducing algal-bacterial consortia. Bioresour. Technol., 245: 358-364.

Ferrarezi, R. and D. S. Bailey (2019) Basil performance evaluation in aquaponics. HortTechnology, 29(1): 1-9.

Liang, J. and Y. Chien (2013) Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia–water spinach raft aquaponics system. Int. Biodeter. Biodegr., 85: 693-700.

Lima J. F., S. S. Duarte, A. M. Bastos and T. Carvalho (2019) Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). Environ. Sci. Pollut. Res., 26(13): 13476-13488.

Martins, M. A., M. A. Poli, E. C. Legarda, I. C. Pinheiro, R. F. S. Carneiro, S. A. Pereira, M. L. Martins, P. Gonçalves, D. D. Schleder and F. do Nascimento Vieira (2020) Heterotrophic and mature biofloc systems in the integrated culture of Pacific white shrimp and Nile tilapia. Aquaculture, 514: 734517.

Maucieri, C., C. Nicoletto, R. Junge, Z. Schmautz, P. Sambo and M. Borin (2018) Hydroponic systems and water management in aquaponics: a review. Ital. J. Agron., 13: 1-11.

Monsees, H., J. Keitel, M. Paul, W. Kloas and S. Wuertz (2017) Potential of aquacultural sludge treatment for aquaponics: evaluation of nutrient mobilization under aerobic and anaerobic conditions. Aquac. Environ. Interact., 9: 9-18.

Rafiee, G. and C. R. Saad (2005) Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. Aquaculture, 244: 109-118.

Rakocy, J. E., M. P. Masser and T. M. Losordo (2006) Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Southern regional aquaculture publication, No. 454.

Shete, A. P., A. K. Verma, N. K. Chadha, P. Chandra, M. H. Chandrakant and K. K. T. Nuwansi (2017) Evaluation of different hydroponic media for mint (*Mentha arvensis*) with common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles in an aquaponic system. Aquacult. Int., 25: 1291-1301.

Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella and A. Stankus (2014) Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper No. 589. FAO, Rome, Italy, 262 pp.

Yogev, U., A. Barnes and A. Gross (2016) Nutrients and energy balance analysis for a conceptual model of a three loops off grid, aquaponics. Water, 8: 589; doi:10.3390/w8120589.

Zhang, H., Y. Gao, H. Shi, C. T. Lee, H. Hashim, Z. Zhang, W. M. Wu and C. Li (2020) Recovery of nutrients from fish sludge in an aquaponic system using biological aerated filters with ceramsite plus lignocellulosic material media. J. Clean. Prod., 258: 120886.

Zou, Y., Z. Hu, J. Zhang, H. Xie, S. Liang, J. Wang and R. Yan (2016) Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifies addition and filler gradation. Environ. Sci. Pollut. R., 23(7): 6671-6679.

漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：39-46, 2020



都市農業與魚菜共生之連結與展望

楊清富、王志瑋
行政院農業委員會臺南區農業改良場

摘要

近年來透過水產養殖和農耕結合之魚菜共生的概念，正慢慢延伸到世界的各個角落。許多人紛紛在大廈的屋頂、客廳角落及居家的陽台設立靠著養魚水灌溉植物的生態系統。既能營造綠色景觀，建立生趣盎然的生態景緻，並提供家庭新鮮的蔬果。魚菜共生系統的原理係將養殖廢棄物及殘餘飼料經硝化作用後由植物吸收，水淨化後再回收當作新的養殖用水，因而提高水的利用效率也降低廢水對環境的污染，是一種低耗水並對環境友善的生產方式。近年來魚菜共生的議題不斷的延燒，不單多數學校利用魚菜共生系統進行生態教育，都市型循環農業也開始導入魚菜共生系統，民間魚菜共生的農場亦如雨後春筍般不斷推出，而推動魚菜共生所成立的組織有社團法人臺灣魚菜共生學會、中華民國魚菜共生推廣協會、臺灣魚菜共生產業促進會及屏東縣魚菜共生推廣協會等。這麼多單位及團體競相投入魚菜共生的領域，主要的原因不外乎體認到水資源匱乏日益嚴重，同時環保意識抬頭，大家紛紛意識到對環境友善之農耕法及永續農業的重要性，而魚菜共生透過自然循環達到省水及養殖廢棄物資源再利用，自然成為關注的焦點。

關鍵詞：魚菜共生系統、水耕、都市農業

前言

地球的資源有限，但伴隨著人口急速增加及工商業快速發展，可耕農地與水資源日益減少，更由於人類活動許多農地可能已受污染而不適合再生產糧食。同時，氣候變遷與不穩定更增加作物及養殖的生產難度與成本。這種種原因，使得全球糧食的產量受到限制。因此，尋求在有限的空間與資源中，創造出最大產量的農漁業生產方式也因應而生，如水耕栽培、植物工廠或高密度循環水養殖等。然而這類集約式的生產方式，卻也衍生出高耗能與污染的問題。2015 年聯合國在「永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs) 中，將「永續農業」列為第二項重要目標。循環農業意指一種將資源利用效率發揮至極大化，並結合物質再生技術，達到廢棄物減量的生產模式，已成為全球農業發展的新寵兒。在此同時，歐洲農業與環境科學家開始提倡都市型態的循環農業，將產業中的廢棄物以再生技術，重新進入農業生產鏈中，使都市農業朝永續方向發展。近年來由水耕栽培與循環水養殖結合的魚菜共生，利用自然循環的原理維持共生系統的平衡。將魚類的排泄物轉為植物可利用的養分，整個系統幾乎不需要排

放廢水，也無需使用化學肥料，能同時生產蔬菜與魚，加上建置門檻不高，因此廣受喜愛與推崇。

都市農業

都市農業近來廣為流行，許多人紛紛在閒置的土地、大廈的屋頂或居家陽台等闢出一處處農園。都市農業對城市居民的影響，包括環境、社會、健康及經濟等面向（李與傅，2018)。在環境面，都市農業可以協助廢棄物回收利用，綠化及植被能攔截微粒和氣態污染物，緩和惡化的都市微氣候。在社會面，都市農場可以美化鄰里，使居民有更多社區的歸屬感，因而強化社區的功能。在健康面，都市農業可以改變食材取得途徑，雖然都市農業無法提供社區全面的營養需求，但支持都市農業的人大多會願意消費更多的蔬果。在經濟面，透過政府或推廣組織，都市農業有可能為參與者帶來就業機會，例如農民市集能提供小農銷售自家產品的市場，進而提高經營收入。

近年來屢屢爆發食安問題，伴隨都市農業越來越流行，造就一股食物自己種自己把關的概念正不斷蔓延。魚菜共生系統不僅能夠省水，還能將養魚的排泄物及殘餌轉換為植物可利用的養分，儼然是個可永續的生態系統。因此近來許多人選擇魚菜共生應用在都市農業，不僅可提供休閒及生態景觀，享受新鮮蔬菜及魚獲，還能促進社區內住戶友善關係。魚菜共生不僅可用來連繫人與人之間的情感及交流分享農事心得，還能促進技術提升，如微氣候監控、設施工法、病蟲害的防治、農產品加工及包裝技術。此外，魚菜共生這種結合多項技術的農法，也提供許多可以自己動手做的機會，如簡易水電施工、作物栽培管理、設施搭建、造景規劃施工、生態觀察、健康烹飪及休閒娛樂等。透過科技的思維，還能激發更多的創意與機會。此外，對未來大量退休及老年人口的社會，魚菜共生系統則能提供不需要大量體力負荷的活動體驗，如藉由養魚、種菜促進肢體協調、減緩失智老化及調節情緒，既能休閒、保健，又能兼顧醫療及養生。

雖然魚菜共生系統病害、蟲害的問題較傳統的養殖或種植方式少，但仍無法免除。魚菜共生系統中植物如遭感染病蟲害，通常採用物理方法或生物防治法進行防治。這是因為化學藥劑對魚的毒害極為嚴重，所以化學藥劑的防治不會列入考慮。因此魚菜共生系統所生產的蔬菜，比一般栽培更被認為安全無毒。

一個完善的魚菜共生系統在系統建置完成並穩定運作後，將能目睹作物及魚隻逐漸茁壯長大，收獲的成就感更是難以言喻。因此，魚菜共生除有生產糧食及友善環境的功能，也能豐富精神內涵，這也契合絕大多數魚菜共生系統施作者的理念，既是為生產安全與安心的食物來改善飲食的品質，同時為環境永續性貢獻一份心力。

魚菜共生系統的 ABC

魚菜共生是一種將養魚與植物栽培同

時結合的生態循環系統，並利用細菌的自然循環將魚排放的廢物轉變成植物的養分。魚菜共生同時兼具水產養殖與水耕栽培兩者的優點，但養殖水幾乎不需排舊換新也無需特別處理，更不需要額外替作物添加化學肥料，是一種對環境友善且具永續性的農法。

魚菜共生整合魚、植物及微生物在共同系統裡，因此有一些參數條件必須被滿足才能維持整個系統的穩定，若系統無法持續穩定必然會以失敗告終。主要的條件包括：水中的溶氧量、酸鹼度 (pH 值)、水溫及水體含氮量。魚類透過鰓從水中獲得氧氣，水中溶氧過低可能導致魚類在短時間內死亡。另外魚菜共生系統中的主要微生物為好氧性細菌，水中溶氧太低會降低其活性。提高溶氧有許多方式，最簡單就是利用空氣幫浦將空氣打入水中形成微小的氣泡，以增加水中溶氧量。根據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 的研究，最佳的溶氧量約在 5－8 ppm (Somervill et al., 2014)。

水的pH值對魚菜共生系統所有物種均有顯著影響，pH 值影響作物吸收養分的能力，pH 值在 6－7 所有的養分均能快速的被吸收，但高於或低於這個範圍，作物就難以充分利用水中的養分，導致微量元素如鐵、磷及鎂的缺乏。硝化菌在 pH 值低於 6 的環境會降低活力，繼而影響其將氨轉換成硝酸的效率，導致水中的氨含量增加，對魚造成毒害。因此魚菜共生系統水體最好呈略微偏酸，pH 值在 6－7 為最佳值 (Somervill et al., 2014)。

水溫對系統的影響是全面性的，水溫控制在 18－30℃對魚、硝化菌及作物都是可接受的範圍 (Somervill et al., 2014)。水溫過高會降低水中的溶氧，而水溫過低可能造成魚的死亡，也會使硝化菌停止代謝。不同的魚種及作物會有不同適合生長的溫度範圍，因此選擇適合當地氣候的魚種與作物非常重要。

養殖水中氨主要是從魚體直接排出，氨對魚具有毒性，會傷害魚的神經系統及影響鰓的功能，導致魚窒息或痙攣，高濃度的氨也會嚴重降低硝化菌的活性，亞硝酸離子對魚的毒性與氨相似，因此魚菜共生系統水體中氨及亞硝酸離子濃度須控制在 1 ppm 以下，才不會對魚的健康產生影響。硝酸對魚的毒性較低，硝酸態氮是植物最容易利用的養分，濃度太低會造成肥力不足，太高可能影響植物生長，研究指出較佳的硝酸濃度為 5－150 ppm (Somervill et al., 2014)。

魚菜共生系統的型式

近代的魚菜共生系統發展出許多型式，主要的型式包括：深水栽培 (deep water culture, DWC)、薄膜栽培 (nutrient film technique, NFT) 及潮汐栽培 (flood and drain, FAD) (楊與鄭，2016)。雖然不同的型式呈現出不同的樣態，但技術核心卻是相同的，主要都是靠著自然的循環維繫系統間生態的平衡。以下針對三種常見的型式簡略說明。

一、深水型系統

深水型系統 (圖 1) 包括養殖桶、生化

過濾槽、栽培植床及水與空氣幫浦。養殖桶主要是提供魚類生長的場所。生化過濾槽內填充生化球或毛刷等材料供硝化菌棲息繁衍，以將水中的氨轉換成植物可利用的肥分，生化過濾槽猶如水質處理器，能將養殖水中有害成分濃度降低至安全範圍內。栽培植床採用水耕栽培的方式將作物定植於浮板上，作物吸收水中的營養鹽而生長。因此魚能在良好的水質環境下生長，水在系統中循環流動，蓄養著魚也滋養著植物。

二、薄膜型系統

薄膜型系統（圖 2）與深水型系統類似，主要差異在於利用管耕方式進行栽培，管內流著少量的水，植物的根系則從水中吸取養分。薄膜型系統通常可將定植管設計成立體的型態，增加種植面積以提高產量。

三、潮汐型系統

潮汐型系統（圖 3）的特性是栽培槽內填充介質，一方面可供作物根系發展，另一方面亦扮演菌床的功能，提供硝化菌棲息繁

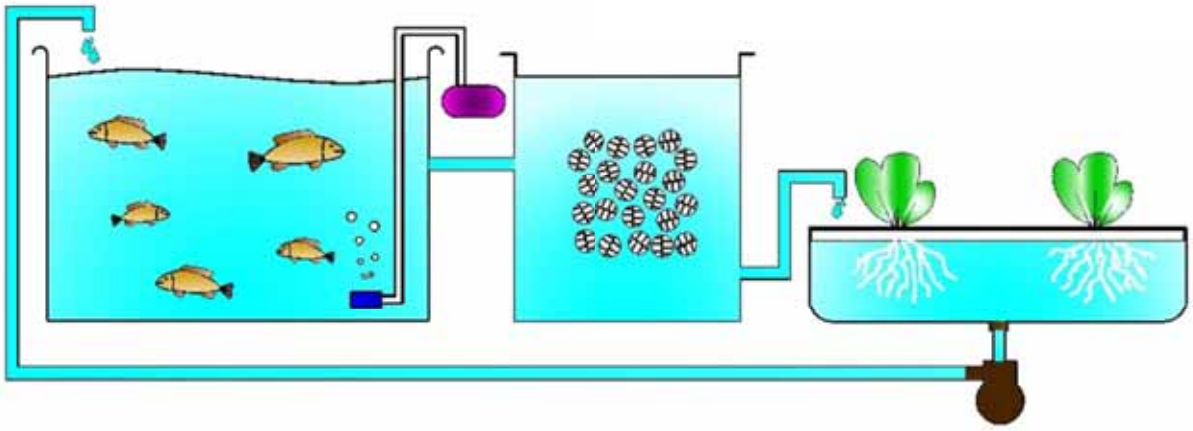


圖 1　深水型系統

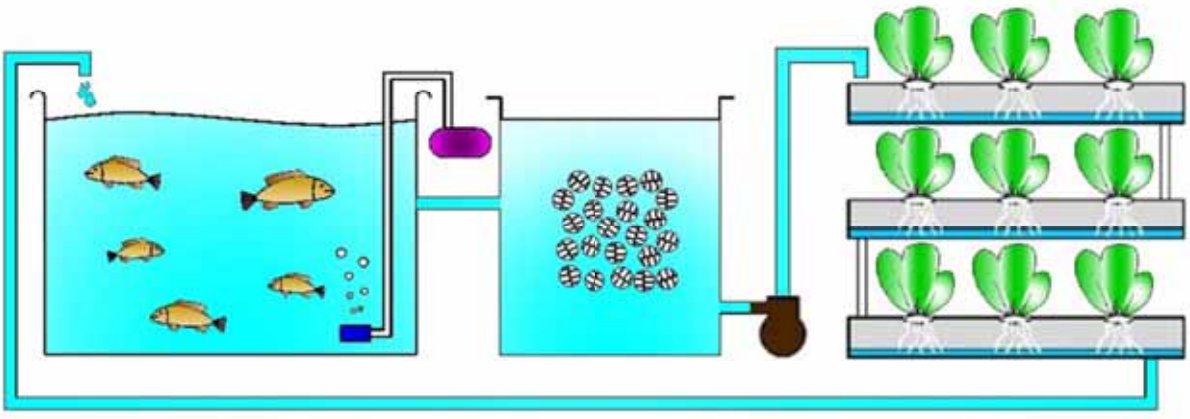


圖 2　薄膜型系統

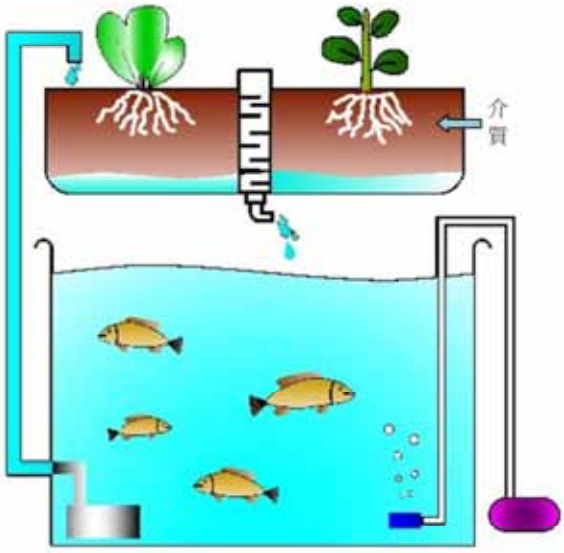


圖 3　潮汐型系統

衍及進行硝化反應。透過虹吸裝置可使栽培槽內的水位自動呈潮汐式的升降，因此栽培槽內的水能完全在系統內循環，不會有滯留的情形。在高水位的狀態，槽內介質大部分會淹浸在水中，能提供作物根系水分，也能提供硝化反應所需的氨給硝化菌。在低水位狀態，空氣會進入介質的空隙間，能提供空氣給作物根系。潮汐式水位控制可確保植物的根圈有足夠的營養鹽和空氣，也能使介質保持濕潤，並讓硝化菌繁衍。潮汐型系統因植物的根系有比較好的支撐，因此也適合高莖或果菜作物的種植。

都市魚菜共生小農場

近年魚菜共生備受推崇，受到各方推廣而發展出非常多樣的型態。從專門進行經濟生產的農場到精緻的桌上小物，正不斷的推陳出新。其中符合都市生活業餘性質的魚菜共生小型農場（楊，2018），正悄悄的落點在各個角落，宛如遺落在都市水泥叢林的綠洲，並默默的豐富人們的心靈。

魚菜共生系統除傳統的蔬菜栽培外，香草植物也是一個不錯的選擇（圖 4），如甜菊、馬鞭草、甜薄荷、仙草、迷迭香和香茅。



圖 4　魚菜共生系統-香草植物栽培，無化肥、無農藥、天然又安全

靠著養魚的水種出來的香草植物不用擔心化學藥劑的問題，隨手一摘就能沖泡出一壺清香的花草茶，此外，香草還能用來製作手工肥皂及萃取精油。滿園子的綠意和著淡淡的花草香，最能調劑生活上的壓力。

模組型魚菜共生系統麻雀雖小五臟俱全，是進行生態教育最好的幫手 (圖 5)。小朋友自己養魚、種菜、採收及觀察，實際體驗魚菜共生的自然循環，繼而瞭解魚菜共生系統的奧妙。從小內化的環境永續概念，有朝一日會像種子一樣萌芽茁壯，為地球環境的永續貢獻一份心力。



圖 5　模組型魚菜共生系統-生態教育的好幫手

近來魚菜共生系統做為居家的擺飾亦時有所見 (圖 6)，雖然大部分植物都需要充足的光線才能正常生長，擺在室內的魚菜共生系統藉由人工補光，作物依然可以有良好的生長狀況，甚至開花結果，增添雋永的觀賞性。而生長在室內的綠色植物不但能夠改善空氣品質，還能舒解眼睛壓力，令人心曠神怡。觀賞悠遊水中的魚群也頗具療癒作用，透過餵食魚群還能享受無限的樂趣。



圖 6　魚菜共生系統擺飾

在圖 7 這個圓形結構中，底層蓄養魚，養殖的水循環流動在管路中滋養管上的植栽，外側覆蓋防蟲網保護內部的蔬菜不受蟲害，兩旁的綠色蔬菜既能供為食用，更提供最佳的視野享受。拱型的內部空間呈現出自然與科技的完全融合，毫無違和感，不論是三五好友還是一個人，在這優雅的環境中總能讓人流連忘返。

魚菜共生的魅力在於靠著自然的循環就能生產衛生及安全的食材，同時能節省水資源並做到無污染排放，對環境極為友善。因此吸引許多家庭在庭院利用簡單材料搭起能夠防雨及防蟲的設施，再闢個水池養些魚，就能利用養殖的水去滋養所種的蔬果。在這個自成一格的園中，只需要定期提供飼料給養殖的魚，就能持續收獲最新鮮的食材，同時，愛吃什麼就種什麼，就像是一個取之不盡用之不竭的食物銀行 (圖 8)。



圖 7　自然與科技融合的魚菜共生系統



圖 8　庭院型魚菜共生系統宛如取之不盡的食物銀行

在圖 9 這個小小的網室中，下方養魚，上方種蒲瓜。養魚的水提供植物生長的肥分，植物及種植的介質則回饋乾淨的水質，儼然是魚幫菜、菜幫魚最佳的寫照。但在網室內授粉昆蟲不易進入，須靠人工授粉才能著果。這裡的花蒲瓜從授粉到採收只需 12－14 天，結實纍纍的蒲瓜不但鮮甜可口，生產的方式更能媲美有機種植。而且養殖桶內的魚經過 8－10 個月的養殖，早已肥碩可供食用，更可貴的是，自己把關所養出來的魚完全不用擔心安全性。



圖 9　下方養魚上方種蒲瓜的魚菜共生系統

魚菜共生系統幾乎沒有型式的限制，一塊空地加上自己的巧思，透過簡單的 DIY 就能創造出一個獨特的小農場 (圖 10)，憑藉這種成就感就能創造無限的可能。農場裡源源不絕的供應當季的蔬菜，還有肥美現撈的魚能豐富餐桌上的菜色，自己種自己養的食材吃起來更安心更滿足。

結語

都市農業喚醒人們對自然的嚮往，讓人重新感受回歸自然的悸動。對內能為處於生活壓力的人們提供釋放壓力的出口，對外可



圖 10　獨特的小農場

以拉近人與人間的距離、凝聚社區的向心力及提供社區民眾新的農事體驗，讓大家重新思考都市生活的方式，更重要的是有助身心靈調劑，進而提高生活品質。同時藉由親身施作的成就感及收獲的滿足感，改善人們身心的健康。在可預見的未來，都市農業會逐漸普及。而魚菜共生在這一波熱潮中，以其豐富多元提供人們一項更環保的選擇，並能讓我們從利用自然的循環中省思如何為地球環境的永續貢獻一份心力。

參考文獻

李阿嬌、傅仰人 (2018) U-Farming 都市農業。科學發展，552: 16-21。

楊清富 (2018) 魚菜共生–都市怡情小農場。科學發展，552: 51-57。

楊清富、鄭安秀 (2016) 魚菜共生系統原理與方法。臺南區農業改良場技術專刊，第 165 號，24 pp。

Somervill, C., M. Cohen, E. Pantanella and A. Stankus (2014) Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper No. 589. FAO, Rome, Italy, 262 pp.

漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：47-5, 2020



小型魚菜共生的未來與發展

王志瑋、楊清富
行政院農業委員會臺南區農業改良場

摘要

魚菜共生為一特殊的生產方式，可同時飼養魚隻和栽種植株，在產業定位上，為同時進行養殖漁業與農產品生產。且其無土栽培的特性，不管在維護及種植方面皆比以土壤栽培方式來得輕鬆，植株也可以免受土傳疾病所困擾，不存在施肥及連續種植限制，對於年長者或較無勞動時間的人來說，是相對容易入手的栽培方法。但因為魚菜共生系統同時顧及養殖與栽植二種系統，中間的平衡是魚菜共生系統最主要的考量。行政院農業委員會臺南區農業改良場在 2018 年針對國小（臺南市新化區口埤實驗小學）及醫院（衛生福利部臺南醫院新化分院）進行試驗皆獲得良好回饋，魚菜共生在食農教育及療癒上或許是個未來的發展方向。

關鍵詞：魚菜共生、食農教育、療癒產業

前言

近來為解決都市環境惡化及都市糧食供應與食物里程等問題，歐美與日本等國興起都市農業 (urban agriculture) 發展概念，提出利用在地資源、採用密集生產方式於都市及市郊進行生產、加工等農業型態。臺灣近年因食安風暴、地溝油等食品安全問題，也發展一波自種自足自把關的風潮。都市農業與傳統農業不一樣，除因應都市環境不同外，並朝向在地生產、食農教育及養生療癒等方向發展，因此發展出植物工廠、人工地盤綠化及可食地景等各式各樣的農業型態 (李與傅，2018)。目前都市農業大多於陽台、屋頂、地下室或社區空地上進行作物的種植，小範圍不外乎陽台的小型菜園，大至環控垂直農場等型態。一般市民在陽台、屋頂等地方種植作物，除可活動筋骨外，亦可吃的安心並獲得收獲的成就感。魚菜共生作為一種省肥及相較純養殖省水的永續循環系統，除生產新鮮蔬菜外，還可以觀賞魚隻，飼養出的魚肉較無土味，讓庭園除種菜外，更可以把環境改造為有水有自然的休閒空間。在參與魚菜共生療癒及食農場域試驗的回饋問卷中，超過 45% 的人認為當擁有魚菜共生系統時應該會放在陽台及庭園等，小型魚菜共生系統可以切入都市農業中。

魚菜共生相較於水耕栽培模式，其器材購置成本及管理維持技術較高，以往多為利用在較具規模的生產類型。臺南區農業改良場近年來致力研發小型魚菜共生系統，系統著重在如何使系統長期穩定、降低初學者進

入魚菜共生領域的門檻，將系統整體建構模組化，易於組合並簡化系統操作性。

原理與重點發展

魚菜共生系統基本上應包含三個部件，養殖部、硝化部及栽培部。透過餵食魚隻飼料代謝產生氨，利用硝化部所培養的硝化細菌將對魚有毒的氨轉換為植物所需之硝酸鹽養分，接著栽培部作物進行吸收，作物獲得養分的同時系統循環水也獲得淨化，使系統生生不息 (圖 1)。魚菜共生系統又依硝化部與栽培部結構分成潮汐型、深水型及薄膜型等三種類型。潮汐型種植多樣化，深水型多用於大型栽培，薄膜型則常見於集約栽培模式。每種類型皆有其優缺點，消費者可考量自身條件與預期的收獲來選擇系統類型。

潮汐型、深水型及薄膜型之魚菜共生系統皆可應用於都市環境，但三者所能種植的作物種類及適用場地有些許不同。針對小型模組化魚菜共生系統，既可作為家庭或校園觀賞養殖療癒空間設備，也可在陽台頂樓種植花草怡情，欣賞魚兒游水逍遙的身姿。但一個魚菜共生系統的成功，關鍵點在系統是否可維持長久穩定。養魚有句話說：「養魚先養水」，魚菜共生系統初期也是如此，作為串聯養殖與栽培的硝化系統為系統的心臟，也必須於初期好好培養。應用於都市農業的魚菜共生系統目標應以系統長期穩定為主要條件，簡化系統部件使系統易於操作維護，降低魚菜共生系統入門門檻。

模組型魚菜共生系統

以小型魚菜共生系統作為魚菜共生景

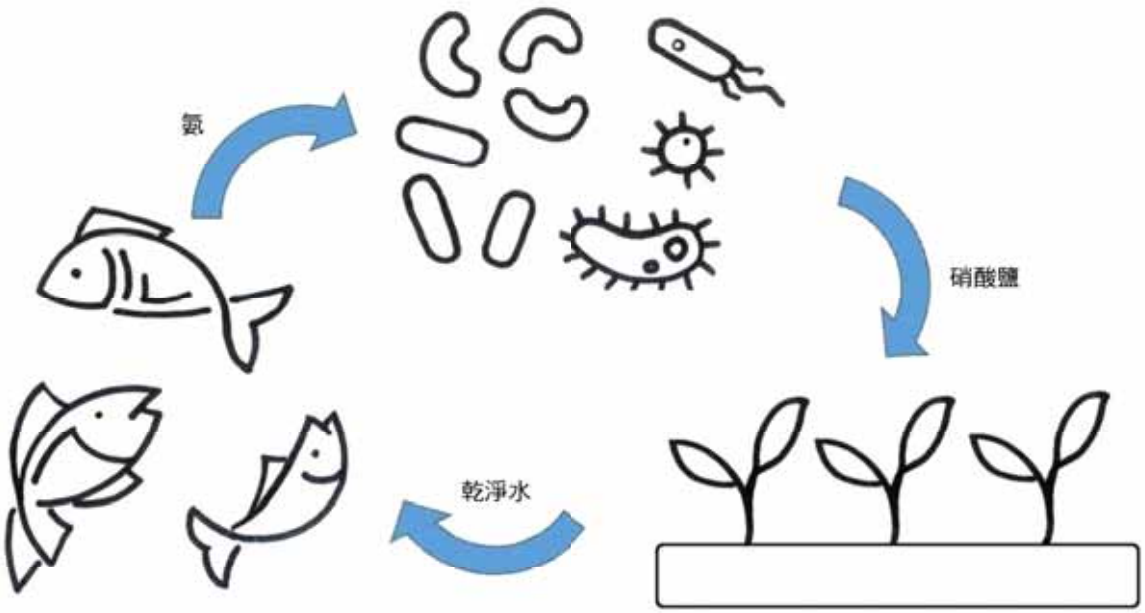


圖 1　魚菜共生循環

觀型發展應用，配合魚菜共生中魚與菜之比例，將各部件模組化，整合簡化系統部件。第一型（圖 2A）以安全、可種植的植物多樣為發展主軸，採用潮汐型循環系統，將養菌及排污設備隱藏，兼顧美觀及實用性。第二型（圖 2B）以自由、輕量化、可隨場域調整為特色，利用鋁擠型搭設可隨場地適度改變之骨架，以薄膜型系統作為此魚菜共生型式。為求系統能兼顧景觀及療癒，系統設計使用強化玻璃增加安全性，並結合適合植物生長之植物燈。在省水方面，平時只需補充蒸發的水分，每日約注入總水量 0.4% 作為水分補充之用。每組示範型系統水量 300－400 L，相較於一般觀賞魚缸平均每 2 週換水 150 L 的水量，魚菜共生系統所減省的水費相當可觀，若搭配監控系統更可以做為預警之用。

系統維護

一、普通維護

一般家庭觀賞魚缸會於換水時一同清洗，而魚菜共生系統魚槽因為水循環利用，無換水需求。不過假如作物小苗是以帶土的方式植栽，殘渣累積過多對系統會產生不好的影響，建議約 4－6 個月做安全換水，並可視時機清理缸壁。一般水族用於除藻的小工具，在魚菜共生上亦可通用。





圖 2　小型魚菜共生系統(A：第一型；B：第二型)

二、水循環維護

不論是哪一型的魚菜共生系統，皆須確保水路的暢通，以維持循環系統的持續運作。如同人體內的血液需要流經全身，魚菜共生的水亦同，小型魚菜共生系統是利用小型水泵作為循環動力，就像是人體心臟的功能，一旦停擺，魚缸的水無法循環很快就會出現問題。水循環維護重點即為確認循環水流動、馬達是否持續運轉。

三、硝化過濾系統維護

硝化過濾系統除可將魚排泄的氨轉換為植物營養外，還有將無用的固態排泄物移出系統的重要功能。隨魚隻餵食排泄，固態排泄物累積也隨之增加，需要定期將其中攔截的雜污排出。魚菜共生系統成功與否與這部分息息相關。

四、栽培槽維護

魚菜共生系統視種植系統可種植的植物種類各有不同，如種植大型或長期的植物(如瓠瓜、絲瓜、番茄及高麗菜等) 建議使用潮汐型魚菜共生，種植小型葉菜類可選集約程度較高的薄膜型與深水型系統 (圖 3)。小家庭可依家庭需求選擇適用規模及作物。

五、養殖槽維護

就魚菜共生而言，常見的水族疾病皆有可能造成魚隻健康不佳的情況，尤其於天氣變化劇烈或水溫超過魚隻適合範圍，皆有可能使魚隻抵抗力下降，必要時可視情況將染疫魚隻進行隔離治療。另外，死亡的魚隻可能會造成系統雜菌生長及水質敗壞，如有魚隻死亡情況需儘速將魚隻撈出，以免導致系統無法負荷而崩壞。



圖 3　中型深水型魚菜共生系統

魚菜共生也不限於只能在學校、農場能看到，透過將硝化過濾系統以簡化、易於清洗為設計目標，使魚菜共生系統能以更多元的方式在不同場所實現循環產業。小至家庭使用的 3－5 坪陽台或小花園，中型如 5－20 坪的頂樓、社區公園空間，甚至面積為 30 坪以上的生產型魚菜共生，只要系統設計得當，魚菜共生系統即可永續運轉，長時間運轉也不須太費心維護。甚至未來家庭也可以如圖 4 所示，建立自家後花園農場。



圖 4　於陽台之魚菜共生系統示意圖

示範設施及問卷調查

臺南區農業改良場在 2018 年於臺南市新化區口埤實驗小學與衛生福利部臺南醫院新化分院建立跨領域示範場域，作為食農教育及醫療互動示範點，並以問卷形式調查民眾及操作者對魚菜共生看法及其影響性。國小有效問卷計有 19 筆，其中 13 歲以下學童樣本數 63.15% (圖 5A)；醫院有效問卷 14 筆，人口分布較為複雜，年齡層為 31 歲以上，以 51 歲以上人口居多 (圖 5B)。之後分析除了整體討論外，亦將國小樣本以年齡區分為學童群體及教師群體，以及醫院人員三個組別探討。

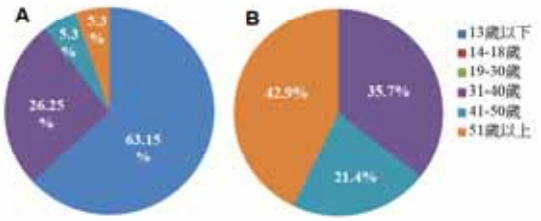


圖 5　樣本年齡分布比例(A：校園；B：醫院)

整體問卷中有接觸過魚菜共生相關資訊的有 13.9% 的比例，不過於醫院人員的樣本可能因領域差異，有接觸過魚菜共生者比例僅 7.14%，國小問卷中可能因教師專業領域及教學規劃關係，有接觸過魚菜共生者比例為 33.3%，相關魚菜共生系統資訊瞭解的人員較多。調查中，學校及醫院人員在魚菜重視情況上反而有高達 58.0% 的比例傾向重視魚隻是否良好，可能因示範場域所設置系統為小型魚菜共生系統以透明水缸做為養殖部的關係，相較於植物，具互動性的魚隻較容易受到注意。

在所重視之功能調查結果中 (圖 6)，國小學童比較重視省水 (54.5%) 與美觀 (45.5%) 功能，而成人反而重視空間利用性 (教師為 71.4%，醫院人員為 78.6%)。除空間利用性外，細分國小教師與醫院人員所重視的面向稍有不同，國小教師傾向重視省水 (57.1%)、操作方便性 (42.9%) 與省肥 (42.9%) 功能，

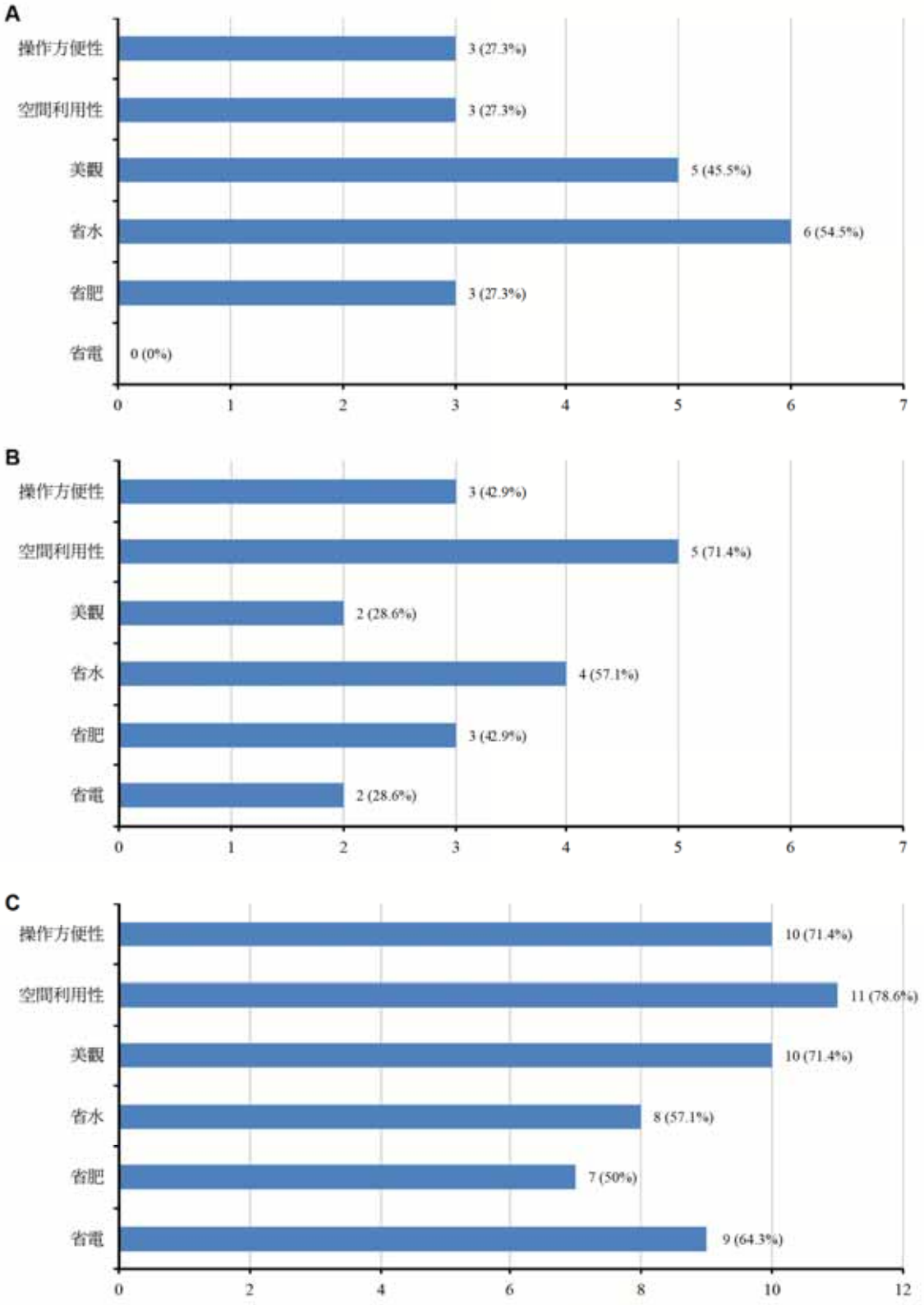


圖 6　各群體對功能重視選項比率(A：學童；B：教師；C：醫院人員)

醫院人員則偏向重視操作方便性 (71.4%) 與美觀 (71.4%)。推測國小教師傾向以魚菜共生系統作為微型示範系統，用以學生教學用途，進而比較重視省水、省肥功能，而醫院人員將模組視為系統型裝飾品，所以比較重視擺設美觀性。不過不論作為何者使用，操作方便性皆為教師及醫院人員所重視。

在擺設位置調查結果中 (圖 7)，各群體所認為小型魚菜共生適宜的環境不一，國小學童認為適合環境依序為庭院 (58.3%)、校園 (41.7%) 及陽台 (25%)；教師則為校園 (57.1%)、陽台 (42.9%) 及公共場所 (42.9%)；醫院人員依序為陽台 (64.3%)、公共場所 (57.1%)、庭院 (35.7%) 及校園 (35.7%)。學童可能因放置之魚菜共生系統類型及初次接觸環境而選擇庭院及校園，在成人組別也因需求有不一樣的考量，不過於陽台都有較高的放置偏好，未來都市型魚菜共生系統可以考慮陽台作為切入考量。

可能因為小型魚菜共生的定位是在休閒農業及都市農業上，對於休閒產業而言，尤其小型魚菜共生目前還處於個人興趣培養上，普遍民眾較不易接受較高的建造費用。在小型魚菜共生整體價位調查方面，31 歲以上之群體別可接受最高價位皆為 3 萬元以下，考量系統建置成本，中型魚菜共生系統以社區共享為模式或許是可行的方法。

結語

綜上所述，魚菜共生系統或許在個別群體中所重視的特質與需求有所不同，在小型魚菜共生系統的需求上，會以低成本、低維護的方向發展。透過設置魚菜共生示範點於校園 (圖 8) 與醫院，學校將魚菜共生系統融入為食農教育中的一環，參與的學童對魚菜共生與永續經營理念能向下扎根，同時學習新型態農業的發展，在醫院設置的魚菜共生模組頗吸引民眾觀賞，院方也回饋透過擺設可減輕民眾於醫院中的壓抑感，在等待醫療時能夠安撫病童情緒。



圖 8　設置於國小校園之魚菜共生示範點

因魚菜共生系統技術門檻值降低，同時民眾對健康蔬菜的意識抬頭，魚菜共生系統日漸普及與產業發展機會增加。魚菜共生系統可跨領域至教育、療養及休閒等產業上，透過推廣小型系統深入校園及醫療機構，將循環精神向下扎根，讓民眾可以更有機會瞭解永續知識進而注重相關議題，甚至為地球做出改變。期待循環農業能夠在農場與城市中四處開花生生不息 (張與吳，2018)。

參考文獻

李阿嬌、傅仰人 (2018) U-Farming 都市農業。科學發展，552: 16-21。

張育森、吳俊偉 (2018) 都市農業的發展。科學發展，552: 6-15。

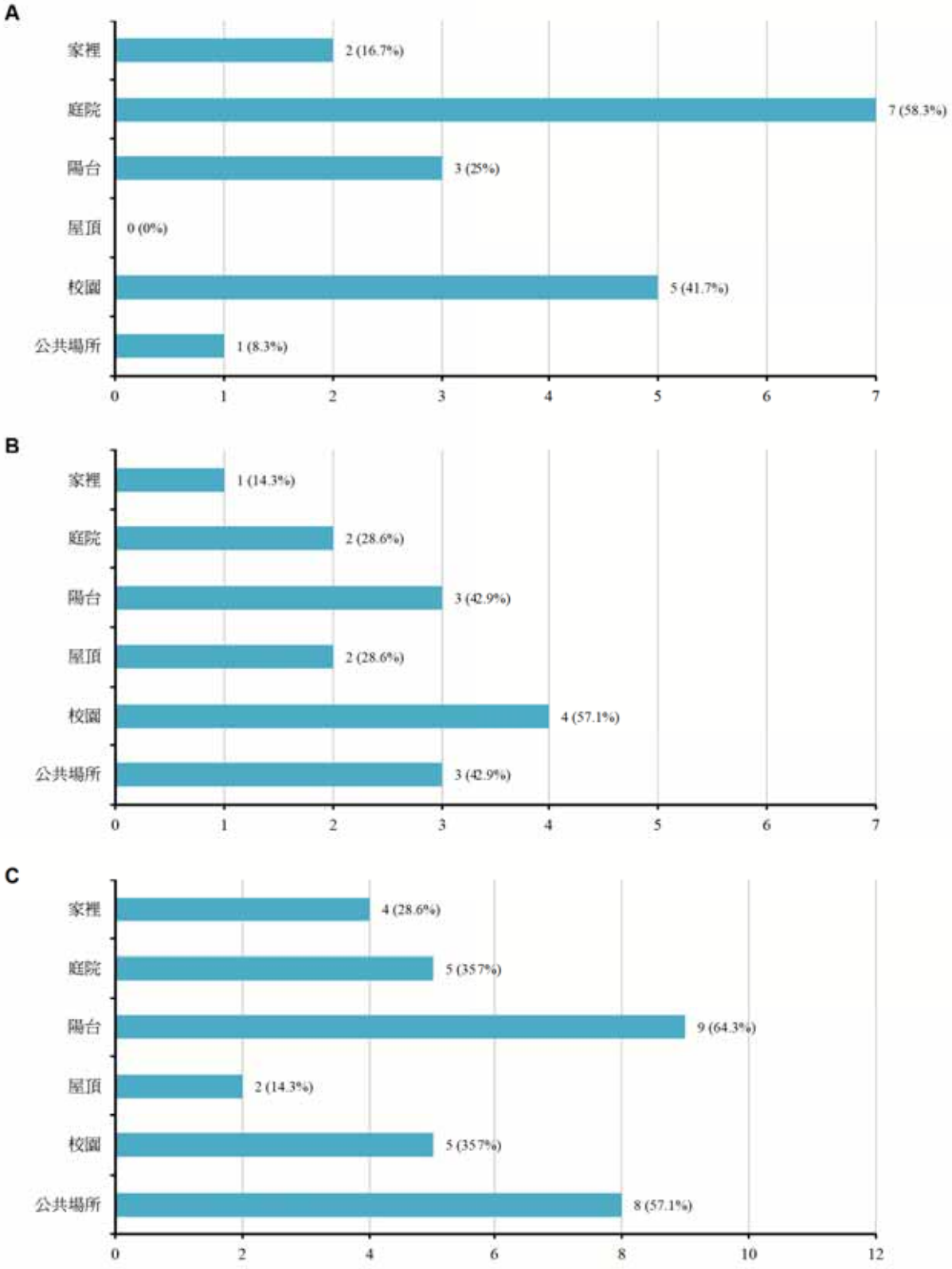


圖 7　各群體對擺設位置選項比率(A：學童；B：教師；C：醫院人員)

漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：55-66, 2020

魚茭共生友善環境經營模式示範及效益評估

藍玄錦、王茗慧、潘依玲、曾喬庸、陳俊位
行政院農業委員會臺中區農業改良場

摘要

本技術整合茭白筍 (*Zizania latifolia*) 栽培之土壤改良、病蟲害防治及水資源利用節水技術，以蚵殼粉等水產生產剩餘物質處理後其產量為 3231.2 (1821.5 + 1409.7) kg/0.1ha，高於土壤酸化之田區 (對照組) 產量為 2316.8 (1203.7 + 1113.1) kg/0.1ha，其可有效改善土壤酸化之問題，回復地力。利用茭白筍之吸收能力，將養殖後之廢棄水排入茭白筍田區後，其總氨氮及硝酸態氮皆可經茭白筍之吸收而降低，淨化養殖漁業廢棄水之水質。另於田區進水口處設置一水池，進行鯉魚 (*Cyprinus carpio carpio*)、青魚 (*Mylopharyngodon piceus*)、泰國鯰 (*Clarias batrachus*)、鱉 (*Pelodiscus sinensis*) 或泥鰍 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 等物種放養，經調查顯示可有效防止田區福壽螺 (*Pomacea canaliculata*) 的危害，田區之福壽螺卵塊皆少於未放養魚隻之田區。再者，搭配有益微生物如木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 之使用，可加速茭白筍栽培過程中剝除下來並棄置於暗溝中之老葉分解，分解後所產生之肥分可循環再利用於茭白筍生長之所需。經由上述之技術整合後建立魚茭共生模式，整合為一友善環境與永續農業之生產模式，維護水田自然生態，提升茭白筍及漁業養殖產能之效益。

關鍵詞：茭白筍、魚菜共生、微生物製劑、生產剩餘物質、循環利用

前言

茭白筍 (*Zizania latifolia*) 為臺灣重要之莖菜類蔬菜，產地集中於南投縣埔里鎮及魚池鄉，兩鄉鎮之種植面積約佔全臺 85% 以上。茭白筍採收季節夏季，時值高溫多濕及多颱風豪雨之際，此時期蔬菜作物大多栽培不易，因而茭白筍成為臺灣重要的夏季蔬菜之一。除夏季外，一年四季皆可品嚐到其滋味，主因為茭白筍栽培管理技術成熟，如電照、刈頭等產期調節技術及採收後易搬運與耐貯藏等特點，使得茭白筍幾乎無供應問題。但由於土地面積有限，農友往往採用連作方式，使得耕地土壤少有休息機會，而慣行農法操作上農民習慣性大量使用化學肥料，使土壤理化特性變差，加上長年淹水易造成元素缺乏及土壤通氣性下降，以及近年氣候變遷等因素，都間接造成茭白筍產量年年下降之趨勢。另一方面，茭白筍生產過程及配合調節產期需大量灌排地下水或泉水，水資源利用效率低，且影響水資源利用之永續性；臺灣地狹人稠、高山林立，除可耕地面積受限外，水資源不易保留，加上近年來氣候劇烈變遷，使得水資源之分配失去

平衡，導致傳統農業遭受巨大考驗。因此，希望整合茭白筍栽培之土壤改良、病蟲害防治及水資源利用節水技術，以矽酸鈣或是蚵殼粉等水產生產剩餘物質等改善土壤酸化問題，並利用茭白筍之吸收能力，淨化養殖漁業廢棄水之水質，另一方面，搭配有益微生物之使用，建立魚茭共生模式，整合為一友善環境、永續農業之生產模式，維護水田自然生態，提升茭白筍及漁業養殖產能之效益並改變現有慣行栽培之瓶頸。

水產生產剩餘物應用於茭白筍土壤改良

利用蚵殼粉進行土壤改良，可有效協助農友解決土壤酸化問題，使田區恢復產能。經試驗結果顯示，利用每 0.1 ha 施用 200 kg 之蚵殼粉，可將原土壤 pH 值 4.65－4.90 改善至 pH 值約 5.61－6.03 (表 1)。經每期作 3 次之植株生育狀況調查顯示，第一期作調查結果如表 2，以蚵殼粉處理之茭白筍株高分別為 84.4、169.6 及 200.8 cm，顯著優於對照組田區之 77.2、160.0 及 194.0 cm，預備進入產筍期之第 3 次生育調查之分蘗數，蚵殼粉處理為每欉 35.3 支，顯著高於對照組之每欉 30.5 支。第二期作蚵殼粉第 1 次生育調查之株高則為 63.2 cm，略優於對照組之 56.3 cm 但並無顯著差異，第 2 及第 3 次之株高則分別為 173.5 及 218.8 cm，顯著優於對照田區之 157.4 及 184.9 cm。預備進入產筍期之分蘗數，蚵殼粉處理為每欉 36.2 支，顯著高於對照組之每欉 33.2 支。筍長及單筍重，兩期作皆以處理蚵殼粉之田區最佳 (表 3)，顯著優於土壤酸化之對照組，但於筍徑、筍肉重及筍肉率上則無顯著差異。再與同樣管理方式，但未有酸化情形且未處理蚵殼粉之田區進行比較，本試驗處理田區之茭白筍性狀皆與該田區無顯著差異。全年產量比較上，土壤酸化之田區 (對照組) 產量為 2316.8 (1203.7 + 1113.1) kg/0.1ha，無酸化之田區產量為 3017.4 (1817.6 + 1199.8) kg/0.1ha，蚵殼粉處理之產量為 3231.2

表 1　未處理前之田區及蚵殼粉處理後之田區土壤營養成分表

		pH	電導度 (1 : 5) dS m^{-1}	有機質	全氮	磷	鉀	鈣	鎂	總氨氮	硝酸態氮
				%		ppm					
試驗區	取樣點 1	4.68	0.63	4.09	0.23	200	72	739	107	97.3	0.0
	取樣點 2	4.65	0.77	4.49	0.22	190	62	979	134	79.8	16.1
	取樣點 3	4.90	0.71	4.71	0.24	231	68	929	113	96.6	15.4
	平　均	4.74	0.70	4.43	0.23	207	67	882	118	91.2	10.5
蚵殼粉	取樣點 1	5.61	1.22	3.94	0.33	202	80	1133	111	100.5	14.8
	取樣點 2	6.03	0.97	4.33	0.23	195	60	1254	135	89.9	17.2
	取樣點 3	5.70	1.01	4.51	0.20	235	59	1320	125	88.2	14.5
	平　均	5.78	1.07	4.26	0.25	211	66	1236	124	92.9	15.5

表 2　第一及第二期作茭白筍田區生育性狀調查

		第 1 次生育調查		第 2 次生育調查		第 3 次生育調查	
		株高(cm)	分蘗(支/欉)	株高(cm)	分蘗(支/欉)	株高(cm)	分蘗(支/欉)
第一期	蚵殼粉	84.4[a]	18.0	169.6[a]	31.8	200.8[a]	35.3[a]
	對照組	77.2[b]	16.0	160.0[b]	29.4	194.0[b]	30.5[b]
第二期	蚵殼粉	63.2	17.0	173.5[a]	29.8	218.8[a]	36.2[a]
	對照組	56.3	15.0	157.4[b]	28.4	184.9[b]	33.2[b]

同一期作同一欄數值標有不同英文字母者，表示有顯著差異，$p < 0.05$；無標示英文字母者，表示無顯著差異，$p \geq 0.05$

表 3　蚵殼粉處理對茭白筍性狀及產量之影響

		筍長 (cm)	筍徑 (cm)	單筍重 (g)	筍肉重 (g)	筍肉率 (%)	產量 (kg/0.1ha)
第一期	蚵殼粉	20.3[a]	3.8	98.3[a]	50.3	51.2	1821.5
	對照組	18.7[b]	3.8	93.1[b]	46.1	50.0	1203.7
	無土壤酸化之田區	20.8[a]	3.9	102.0[a]	50.5	50.0	1817.6
第二期	蚵殼粉	18.2[a]	3.9	95.5[a]	48.3	50.5	1409.7
	對照組	16.3[b]	3.9	90.2[b]	43.1	47.8	1113.1
	無土壤酸化之田區	17.1[a]	3.9	94.3[a]	45.5	48.3	1199.8

同一期作同一欄數值標有不同英文字母者，表示有顯著差異，$p < 0.05$；無標示英文字母者，表示無顯著差異，$p \geq 0.05$；產量係以全園區之收穫量進行面積換算，無進行統計分析

(1821.5 + 1409.7) kg/0.1ha，依據上述結果顯示，蚵殼粉之處理可有效改善土壤酸化之問題，回復地力。

魚茭共生

魚菜共生為近年來新興的一種農業操作模式，其結合作物栽培及水產養殖，可有效利用水資源，並形成一氮循環系統，使養分循環再利用。魚菜共生的原理係將養殖物排放至水中的排泄物或餵養後所殘餘之殘餌 (圖 1)，經分解作用後形成可供給植物吸收之養分型態，再藉由作物將水淨化後回收作為新的養殖用水，達到水資源再利用之目的，是一種對環境友善的生產方式。魚菜共生系統藉由養殖密度的控制、投餌量多寡及作物種類等之組合，可延伸出不同之系統模式 (Rakocy, 1989；楊與鄭，2016)。



圖 1　餵養過程中之殘餌，易造成水質快速劣化

南投縣埔里鎮及魚池鄉是國內茭白筍栽培面積最大的區域，且因水源充沛且清澈，故有許多高經濟魚種之養殖場，如鱘龍魚、鱒魚等。統計結果顯示，每 30 公噸之養殖池，每日排放之廢棄水約 3－5 公噸，養殖後之廢棄水多直接排放至溪裡，實為浪費。臺中區農業改良場建立之魚茭共生系統，係為利用上述養殖後之廢棄水，進行茭白筍田灌溉，再行排放。經調查及水質監測結果顯示 (表 4)，養殖池之排放水 pH 值介於 7.12－8.00、DO 值 (溶氧量) 為 4.74－6.93 ppm、總氨氮及硝酸態氮分別介於 0.53－1.42 ppm 及 2.32－6.80 ppm 之間，經由排入茭白筍田區後其水質數據則為 pH 6.98－7.94、DO 4.23－6.07 ppm、總氨氮 0.35－1.04 ppm 及硝酸態氮 0.87－1.76 ppm。養殖後之廢棄水排入茭白筍田區後，其總氨氮及硝酸態氮皆可經茭白筍之吸收而降低，除可提供茭白筍栽種期間之養分外，亦可達到淨化水質之效果，減少因養殖廢棄水中高含量氮造成溪流優養化之問題。

魚茭共生之生物防治

福壽螺 (*Pomacea canaliculata*) 為大型的淡水螺物種，繁殖能力強，為雜食動物，喜歡吃幼嫩的植物，對水稻、茭白筍等水田作物危害很大 (廖等，2002)。傳統農業操作中多以 Niclosamide (耐克螺) 或是苦茶粕等作為防治手段，但受氣候溫度條件

表 4　魚茭共生試驗場域之水質監測數據

日期(月/日)		3/23	4/15	5/21	6/17	6/18	7/15	8/19	9/23	10/27
養殖池排放水	pH	7.12	8.00	7.44	7.65	7.53	7.61	7.41	7.35	7.30
	DO(ppm)	5.59	4.74	6.93	5.13	4.84	5.42	5.11	5.61	5.32
	總氨氮(ppm)	1.10	0.83	0.80	1.31	1.42	1.22	0.53	1.05	1.34
	硝酸態氮(ppm)	3.50	3.56	4.98	3.74	2.32	4.54	3.69	2.33	6.80
		施　肥								
取水點 2	pH	7.12	7.94	7.58	7.32	6.87	6.98	7.13	7.31	7.22
	DO(ppm)	5.44	5.47	4.39	5.42	3.99	4.33	5.19	6.07	4.23
	總氨氮(ppm)	0.64	0.54	0.35	0.62	4.27	0.45	0.41	0.39	1.04
	硝酸態氮(ppm)	1.05	1.32	0.87	0.95	3.98	1.26	1.59	1.60	1.76

及操作方式影響成效。如耐克螺施用時須有一定之水位高度，方能見效，而苦茶粕於低溫下效果不佳，且兩者於防治之效果皆無選擇性，對於水田中其他生物亦具有毒害，進而破壞生態 (蔡等，2015)。再者福壽螺會隨著灌溉水流移動，即使原田區內之福壽螺已清除，但難保灌溉水源不再挾帶。

利用魚隻進行生物防治是一有效的方法，目前多數茭白筍農會直接於茭白筍田區進行魚隻放養，其能有效防治福壽螺的危害，然田區水位高低，會因茭白筍生長時期而進行調整，如初期生長為促進分蘗，水位高度僅維持約 10 cm，此時無法放養魚隻 (圖 2)，甚至於休耕、整地或收割結束後之刈頭處理時，田區多為無水狀態，此時農友會將魚群捕撈至他處暫放，此作業程序增加農事工作量，且捕撈過程中常有漏網之魚，造成損失。鑒於上述之問題，建議可於田區進水口處設置一水池，進行魚隻放養，該水池出水口處再以鐵網遮蔽，防止魚隻游出，方便管理，此時若福壽螺順著灌溉水流移動時，於進水口處會先被魚群捕食，可有效防止田區福壽螺的危害 (圖 3)，目前也有多數茭白筍農友採行此方式，經調查顯示以此方法進行管理之田區，其田區之福壽螺卵塊皆少於未放養魚隻之田區 (圖 4)。養殖物種之選擇可利用鯉魚 (*Cyprinus carpio carpio*)、青魚 (*Mylopharyngodon piceus*)、泰國鯰 (*Clarias batrachus*)、鱉 (*Pelodiscus sinensis*) 或泥鰍 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 等，皆具有一定之防治效果。當魚隻吃完福壽螺後排出之排泄物，則可作為茭白筍田區之養分，達到農業循環目的。

茭白筍生產剩餘物應用性

茭白筍葉片及葉鞘佔總生質量 50－70%，每公頃茭白筍桿 (殼) 生產剩餘物鮮重可達 7－10 公噸，且茭白筍葉鞘與葉片中含 K_2O 各約 3－4% 與 5－7%，以及含有



圖 2　茭白筍種植初期為促進分蘗，故水位較低，不宜放養魚隻



圖 3　茭白筍田區入水口處可設置水池(左)，經由放養魚隻(中)清除福壽螺，減少福壽螺進到茭白筍田區之機率，為防止魚隻進入田區可於水池出口處架設鐵網避免放養魚隻逃逸(右)

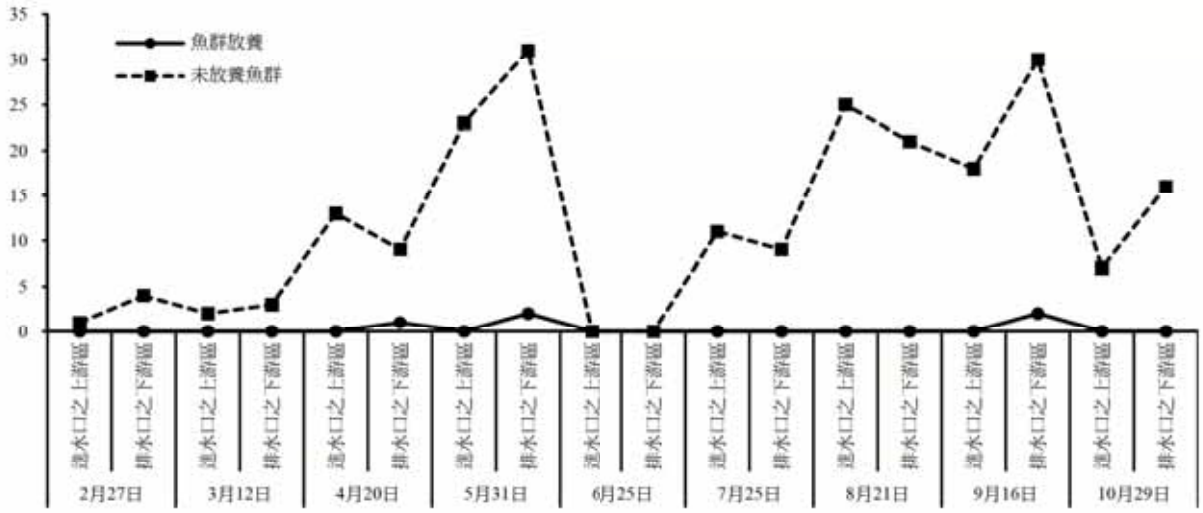


圖 4　茭白筍田區放養魚群之有無對福壽螺卵塊數量之比較

鈣、鎂、錳、銅及鋅等微量元素 (俞，2008)，為一理想的農業循環用之堆肥材料來源。茭白筍栽種過程中，多需進行老葉或病害葉剝除之田間操作，以促進分蘗生長、促進通風及避免害蟲隱蔽，以利病蟲害防治管理。然茭白筍葉 (殼) 多堆置於田間暗溝，發酵腐爛過程中產生厭氧性細菌阻礙根部呼吸，且老葉攜帶之病蟲害，尚殘存於其上，除影響田內水流外，亦成為田間病蟲傳播源之一，如困擾茭白筍農許久之基腐病，其造成危害之病原菌即為 *Pythiogeton* sp. 及 *Enterobacter cloacae* 等兼性厭氧菌所引起 (廖等，2002)，其會於棄置田區中的植株殘體繁殖生長，並藉由水流進行傳播，再由因採收、剝葉等田間操作所造成之植株傷口侵入，染病之植株，會由莖基部開始腐爛，並向上擴展，腐爛之部分會散發惡臭味。但農民朋友於田間操作時，若再將剝除後之老葉移出田區，對勞力上是一大負擔，因此必須尋求適宜處理的方法，避免將茭白筍葉 (殼) 丟置於田間或是加速其分解，減少病媒蟲害繁殖之棲所，進而克服栽種之問題，並達到農業循環之目的。

微生物製劑及菇蓐生產剩餘物質於茭白筍友善栽培或水產養殖上之應用

一、液態微生物製劑使用

臺中區農業改良場開發之微生物製劑係利用乳清蛋白、海草粉、矽藻土、蝦蟹殼粉及糖蜜等所製成，將木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 及上述資材投入濾袋中後，再添加適量之水，每日攪拌，待 10－14 日後，即可取出使用。微生物製劑之施用，可加速栽培過程中剝除下來並棄置於暗溝中之老葉的分解 (圖 5)。此外尚可作為有機液肥施用於植株，並依據作物生長時期及類別可選擇以根灌、葉噴等方式以及依據生長時期進行不同稀釋倍數等施用，若以茭白筍為例，其可以稀釋倍數 200－500 倍進行葉面施用 (藍等，2018)。水田作物，則可直接於田區進



圖 5　微生物製劑可加速茭白筍葉(殼)分解，經試驗比較結果顯示，處理一個月其已達到完全分解之情形(左)，以手輕捏可完全粉碎成細末，未處理組則僅脫水軟化(右)

水口處施用，使其順著田間水流布滿田區，以利植株吸收。茭白筍田區則可以每次每 0.1 ha 施用 20－30 L 之量進行操作。

二、菇蓐生產剩餘物質再利用

利用菇蓐類作物生產後之剩餘物質，以木黴菌堆肥發酵接種劑進行接種後，可快速分解，並調製成具抑病能力之介質，供栽培上使用。另一方面其具有相當之肥效，以及其內含之木黴菌可加速有機物質之分解，運用於茭白筍栽培上可提供養分供植株吸收，亦可加速栽培過程中剝除下來並棄置於暗溝中之老葉的分解，分解後所產生之肥分可循環再利用於茭白筍生長之所需。於施用上，因菇蓐生產剩餘物質開發之產品質量較輕，若直接施灑於田區，會浮於水面，並隨水流沖走，故可以不織布之肥料袋包裝後，直接放置於田區進水口處 (圖 6)，用量為每分地 20－30 包，並依據田區之形狀及水流之方向進行放置方式之調整。

三、液態微生物製劑應用於水產養殖

現階段在水產養殖生產中應用較多的益生菌主要有光合細菌、芽孢桿菌、硝化菌、乳酸菌等。其功能主要是將其作為水質淨化處理或是底土改良等之用途，強化養殖環境中自淨能力，將池內的有機質如飼料殘餌、排泄物、藻類及無機物如硫化氫、亞硝酸等轉化成無機鹽類、二氧化碳及水等，維持良好水質。臺中區農業改良場開發之微生物製劑於養殖運用上，其菌種為自行篩選之木黴菌及芽孢桿菌菌種 (圖 7)，而後利用乳



圖 6　經微生物發酵處理後之農業生產剩餘物質，以肥料袋包裝後，於袋上穿刺小洞，再置於田間入水口處，養分可順著水流布滿田區，內含之微生物可加速田間副產物分解，亦可減少施肥用量及人力，節省成本及達到省工之目的

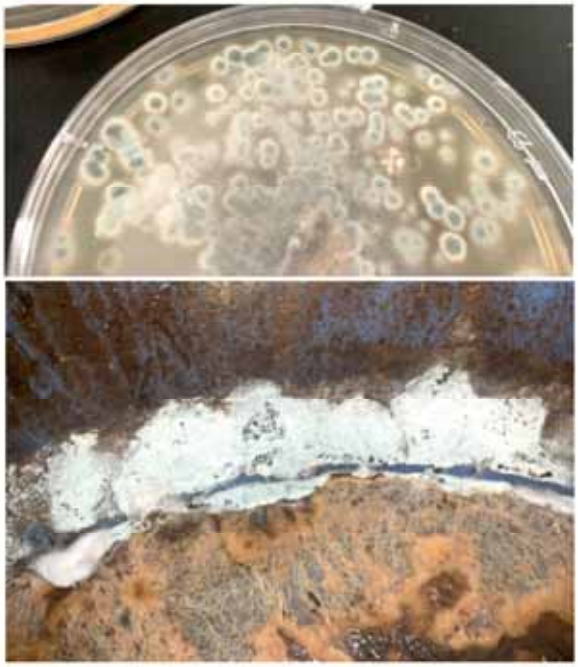


圖 7　實驗室內篩選可應用於水產養殖之木黴菌及其他微生物菌種



圖 8　以乳清蛋白、海草粉、甲殼素及糖蜜等配方進行發酵後之微生物製劑，可應用於水產養殖水質淨化、飼料混拌等用途，亦可作為作物之有機液肥使用

清蛋白、海草粉、甲殼素、糖蜜等進行配方調製，再應用於養殖池中，配方調製的發酵過程中，經微生物作用會生成相關分解酵素，如脂肪、蛋白質分解酵素等，能直接快速分解有機質 (陳等，2014)。經發酵後之微生物製劑 (圖 8)，會誘發乳酸菌，施用於養殖池中後，能有效調整水產動物腸道的菌群平衡，抑制病原微生物，分泌乳酸，產生多種消化酶，幫助魚類消化吸收，促進生長。

結語

經由上述之技術整合後進行茭白筍栽培，經調查結果顯示 (表 5 及圖 9)，單位面積產量可較慣行之栽培方式提高 30%，並增加筍肉可溶性固形物之含量，提高品質 (圖 10)。經農家收入及支出統計結果換算，

表 5　魚菱共生生產模式及傳統栽培模式之茭白筍生育性狀及產量比較

	株高 (cm)	分蘗 (支/欉)	單筍重 (g)	總產量 (kg/0.1ha)
傳統栽培模式	172.3	17.3	77.3^{b}	2369.5^{b}
魚菱共生示範組	190.0	19.8	90.2^{a}	3070.0^{a}

同一欄數值標有不同英文字母者，表示有顯著差異，$p < 0.05$；無標示英文字母者，表示無顯著差異，$p \geq 0.05$

圖 9　茭白筍以循環生產模式之田區生長情形(右)及對照組(左)

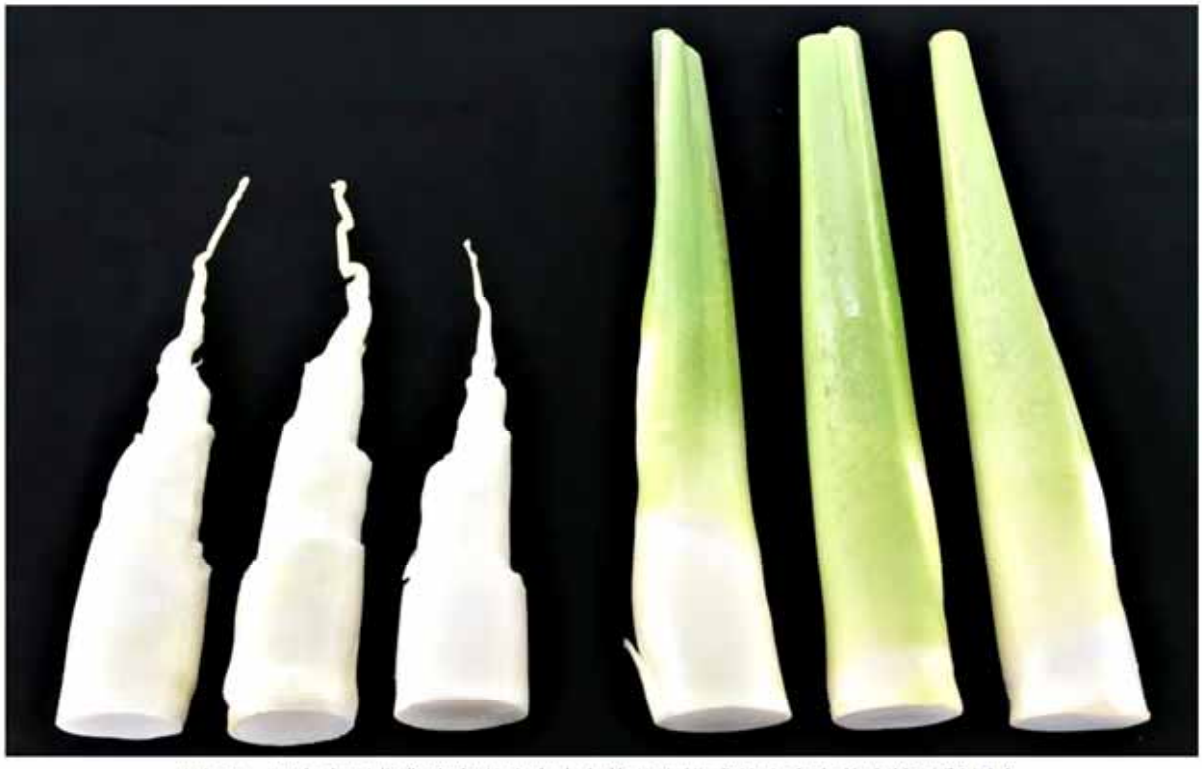


圖 10　以臺中區農業改良場建立之魚茭共生模式其生產之茭白筍品質優良

此生產模式可減少 1/3 茭白筍栽種過程中需使用之肥料用量，意即每 0.1 ha 可減少施肥量約 80－100 kg，以每 kg 10－15 元再加上肥料施用人力費用 (1,500 元/日/工) 之換算，每期作 (一年兩期) 可減少農戶 0.1 ha 之支出成本 6,800－7,500 元左右。產量之增加則可增加茭白筍農戶每期作、每 0.1 ha 收入 35,000－70,000 元不等，總計可增加盈收 41,800－77,500 元。臺中區農業改良場建立之魚茭共生生產模式 (圖 11)，係整合茭白筍田之土壤改良，並利用茭白筍之吸收能力，淨化養殖漁業廢棄水之水質，另一方面，搭配有益微生物之使用，減少廢棄物的產生，整合為一友善環境、永續農業生產之栽培模式，以維護水田之自然生態並提升茭白筍及漁業養殖產能之效益。



圖 11　魚茭共生循環模式示意圖

參考文獻

俞曉平 (2008) 茭白鞘葉的主要成分分析。茭白高效安全生產大全，中國農業出版社，中國北京，133-135。

陳俊位、鄧雅靜、蔡宜峯 (2014) 木黴菌在作物病害防治的開發與應用。農業生物資材產業發展研討會專刊，87-115。

楊清富、鄭安秀 (2016) 魚菜共生系統原理及方法。臺南區農業改良場技術專刊，第 165 期，24 pp。

廖君達、林金樹、陳慶宗 (2002) 臺灣茭白筍病蟲害種類及發生消長調查。臺中區農業改良場研究彙報，75: 59-72。

蔡依真、翁崧夏、謝文棟 (2015) 茶皂素在植物保護方面之應用。花蓮區農業專訊，91: 10-12。

藍玄錦、林煜恒、陳俊位 (2018) 有機資材應用對茭白筍生長發育及產量之影響。臺中區農業改良場研究彙報，138: 37-51。

Rakocy, J. E. (1989) Vegetable hydroponics and fish culture - a productive interface. World Aquacult., 20: 42-47.



漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：67-74, 2020

魚隻放養密度對魚芋共生有機栽培模式之影響

林文華、楊大吉
行政院農業委員會花蓮區農業改良場

摘要

三種密度紅色吳郭魚 (*Oreochromis* spp.，俗稱紅尼羅魚) 放養於有機檳榔心芋 (*Colocasia esculenta*) 田區，以評估魚芋共生方式對宜蘭地區有機檳榔心芋生產的影響。結果顯示三種密度放養處理及不放養對照區的芋年產量為 3,744－4,513 kg/公頃，以 2,500 尾/公頃處理表現較佳。紅尼羅魚放養 4.5 個月後以 1,250 尾/公頃處理活存率 65.1%、魚重增加 20.2% 表現較佳。本次試驗之總體淨收益以放養 2,500 尾/公頃處理 227.2 千元/公頃表現最佳，淨收益最高，可較無放養紅尼羅魚對照模式增加 44% 左右的獲利。

關鍵詞：檳榔心芋、紅色吳郭魚(紅尼羅魚)、有機農法、共生栽培、密度

前言

花宜地區近年積極推動有機農業，然生產規模不如中南部大產區，市場競爭條件較差，需開發具獨特性產業以提升競爭力。宜蘭地區農友近年嘗試檳榔心芋 (*Colocasia esculenta*) 有機栽培，然而產量低，營收不如預期，為解決上述問題，花蓮區農業改良場進行「魚芋共生」有機循環栽培模式建立，透過經營模式調整以提高獲利，增加農民從事有機生產意願。本試驗探討魚隻放養密度對該模式之影響，以期獲得較佳魚隻放養模式。

芋屬於天南星科芋屬之多年生植物，原產於印度，是熱帶地區重要的糧食作物之一。芋地下球莖發達，為主要可食部位，富含澱粉、礦物質及維生素，營養豐富。另外，葉柄亦含有鈣、磷、鐵、維生素 A 及 C 等，也可當作蔬菜使用 (黃與黃，1995)。臺灣主要栽培品種為檳榔心芋，具有高產、適應性強等特性，為主要水生蔬菜之一 (林，2009)。由芋植株各部位乾物質生產及分配的趨勢，可將生長期劃分成四個階段：生長初期、地上部生長旺盛期、球莖快速膨大期及球莖成熟期 (陳，1996；呂等，1999)。在定植後 5－6 個月為生長旺盛期，地上部生長量達最高峰，隨即進入球莖結球期，地下球莖逐漸膨大，地上部隨之萎縮，至 9－11 個月時，僅剩下 2－3 片之葉片以及很小的葉面積，此時為採收適期 (黃與黃，1995)。

花蓮區農業改良場於宜蘭地區進行魚茭共生有機茭白筍栽培模式試驗，結果顯示魚溝深度 40 cm 以上有較佳的魚隻活存率；

每分地田區放養紅色吳郭魚 (*Oreochromis* spp.，俗稱紅尼羅魚) 1,000 尾對茭白筍成存率、產量、單筍重及筍長等無顯著影響 (Chen and Lin, 2013；林，2013)，但可有效控制福壽螺及雜草密度 (林，2014)；雖然試驗結果顯示深度 70 cm 深魚隻活存率稍高於 40 cm 深處理，但挖掘深度越深，操作也較不易，對田區日後的復原影響也較大，故建議可依現場需求評估挖掘深度 (楊等，2014)。魚茭共生有機生產模式極富特殊性與趣味性，透過茭田中悠游的魚讓有機田野更加生動活潑，農友也能設計各種體驗活動，適合導入體驗式休閒農業利用，在三星鄉行健村已成為當地宣傳亮點 (林，2016)。

材料與方法

一、魚芋共生場域設計

魚芋共生之檳榔心芋田區以宜蘭地區慣用之作畦方式離水栽培，試驗田區於 2017 年 10 月整地後作畦。畦高約 40 cm，畦寬約 120 cm，畦面寬約 90 cm，畦溝寬約 80 cm。田區靠灌溉水入水口一側挖設一寬 4 m，深約 30 cm 之改良式魚溝，並透過畦溝連接田區入水口及排水口，對向有排水口一側則挖設一寬約 2 m，深約 30 cm 之改良式魚溝。魚溝走向與芋畦走向垂直，並與各畦溝連通 (圖 1)。

二、試驗方法

2017 年 12 月進行芋苗田間定植，每畦種植 3 行，株距約 30 cm。芋苗購自臺中市大甲區友善耕作農友。檳榔心芋生長時期維持畦溝水深約 30 cm，2018 年 7 月中下旬生長後期田區排水使水深降至 10 cm，芋株基部離水以利養分回流。9 月中旬進行檳榔心芋採收，調查採收率、採收單粒重及換算單位面積產量。單粒重調查完成將芋實切片，置於 50℃烘箱烘 24 小時後稱重，調查乾物重比例。採收完成後畦溝回復水深 30 cm 以上。以田區水體計算，檳榔心芋生長時期及採收後，水體包含畦溝及魚溝約為 2,240 m^3/公頃；生長後期畦溝水深較淺，魚隻活動之理想水體僅有魚溝區域約 240 m^3/公頃。紅尼羅魚原定於 4 月下旬至 5 月上旬間依各試驗處理密度放養，因 2018 年梅雨季降雨極少，改至 6 月中旬連數日降雨後放養，紅尼羅魚購自宜蘭縣員山鄉，放養時記錄魚隻重量；10 月下旬將田區魚溝水位排低，撈取魚隻調查重量，計算增重率。10 月魚隻收獲後估算魚芋共生之生產效益，並與未放養魚隻之有機生產進行生產效益比較。

三、試驗處理

魚隻放養密度分為高、中及低密度三種處理，並設一未放養對照組。

(一) 高密度放養

於田區放養 5,000 尾/公頃。檳榔心芋生長前期及採收之後田區水體放養魚密度約 2.2 尾 (1.3 kg)/m^3；芋生長後期至採收期則約 20.8 尾 (12.5 kg)/m^3。

(二) 中密度放養

放養 2,500 尾/公頃。檳榔心芋生長前期及採收之後田區水體放養魚密度約 1.1 尾 (0.7 kg)/m^3；芋生長後期至採收期則約 10.4 尾 (6.2 kg)/m^3。



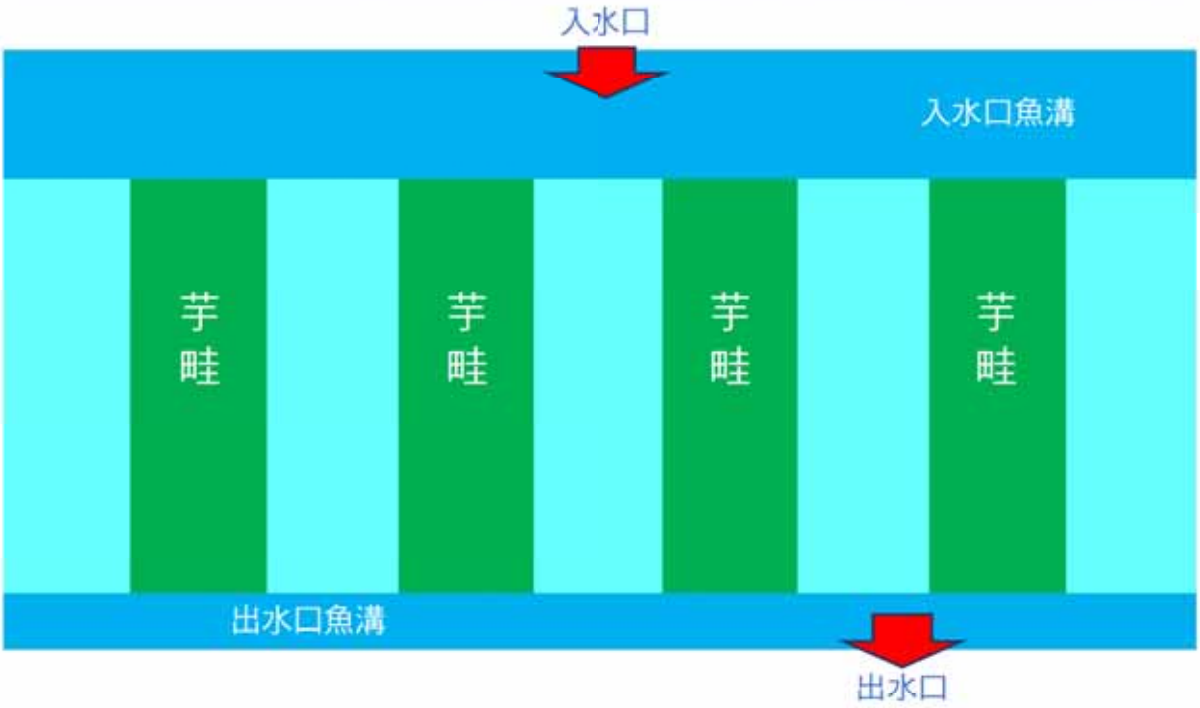


圖 1　魚芋共生試驗田區規劃。長條狀色塊為芋畦，上方為入水口一側之改良式魚溝，下方為排水口一側之改良式魚溝

(三) 低密度放養

放養 1,250 尾/公頃。檳榔心芋生長前期及採收之後田區水體放養魚密度約 0.6 尾 (0.3 kg)/m^3；芋生長後期至採收期則約 5.2 尾 (3.1 kg)/m^3。

(四) 未放養對照

未設置魚溝及放養魚隻，僅設置芋畦。

結果與討論

一、共生田放養密度對魚隻的影響

本試驗於宜蘭縣三星鄉行健村有機田區進行，面積約 0.3 公頃。試驗處理係於有機檳榔心芋田中以每公頃分別放養紅尼羅魚 1,250、2,500 及 5,000 尾等三種密度，以評估紅尼羅魚放養對宜蘭地區高畦栽培有機檳榔心芋生產的影響，放養紅尼羅魚單尾重約 550－590 g，放養時間為 6 月中旬，魚隻收獲時間為 10 月下旬。由表 1 結果可看出，在有設「魚溝」的田區，每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾紅尼羅魚處理之活存率分別為 65.1、61.2 及 51.5%。以每公頃放養 1,250 及 2,500 尾紅尼羅魚處理活存率較高，5,000 尾處理活存率最低，顯示在本年度宜蘭縣三星鄉供水較缺乏的狀態下，每公頃放養 5,000 尾的魚隻密度過高。

本次試驗魚隻死亡時間主要集中在放養 2 週內，故推測放養初期環境適應不良會導致魚隻死亡較多；另於夏季供水缺乏、水體較小時亦有較多魚隻死亡。共生田區於前、後端各設置 4 m 及 2 m 寬，深度 30 cm 的魚溝，於供水不足時可見魚隻主要集中在此處活動，水量充足時觀察魚隻停留在魚溝的時間較其他區域如畦溝為長，因此設置魚溝對魚隻活存有明顯助益。惟魚溝深度影響魚芋共生場域水體大小甚鉅，特別在檳榔心芋生長後期及採收期需降低田區水深，此時魚隻活動區域僅限於魚溝，魚溝深度對魚隻活動空間影響更大，因此魚溝深度需求對魚隻的影響，仍需進一步探討。

本次魚芋共生試驗，因有機田區是否適合投入市售魚飼料仍不明確，故對田區魚隻不做餵飼，僅放養初期約每週投放有機米糠作為補充飼料，在 1,250、2,500 及 5,000 尾/公頃處理各投放約 50、100 及 200 kg/公頃 2 次。由試驗結果得知，於共生田區放養 4.5 個月之後，放養 1,250、2,500 及 5,000 尾/公頃處理之魚隻平均重量分別為 670.1、651.3 及 661.5 g/尾，處理間無顯著差異；而魚體分別增重 20.2、12.0 及 15.6% (表 1)，

表 1 檳榔心芋田中放養不同密度紅尼羅魚之魚隻增重和活存率

放養密度(尾/公頃)	放養魚重(g/尾)	收獲魚重(g/尾)	魚增重率(%)	活存率(%)
1,250	557.5	670.1	20.2	65.1
2,500	581.5	651.3	12.0	61.2
5,000	572.3	661.5	15.6	51.5

各處理間無顯著差異，$p \geqq 0.05$

魚增重率為 (收獲魚重 - 放養魚重)/放養魚重 × 100(%)

以 1,250 尾處理稍高，5,000 尾處理其次，2,500 尾處理較低。

二、魚隻放養密度對檳榔心芋的影響

9 月中旬進行檳榔心芋採收並進行調查，結果顯示共生田區每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾紅尼羅魚三種處理及未養魚對照組之檳榔心芋採收率分別為 37.3、42.7、37.5 及 40.3%，處理間無顯著差異；採收不良品比率各處理為 66.7、70.0、62.5 及 65.7%，亦無顯著差異；採收單粒重各處理分別為 203.8、211.4 、199.7 及 209.8 g，亦無顯著差異；年產量方面，各處理分別為 3,800.9、4,513.4、3,744.4 及 4,227.5 kg/公頃，以 2,500 尾/公頃處理稍高，其次為對照組；在採收球莖乾物量方面，各處理乾物重佔鮮重比例分別為 33.3、30.3、31.0 及 34.3%，以對照組稍高，2,500 尾/公頃處理較低 (表 2)。在採收球莖剖面觀察方面，三個處理及對照組檳榔心芋採收球莖均不大，外觀多呈不規則狀，非檳榔心芋市場接受度佳之橢圓形，而縱剖之後觀察內部紫色紋路，各處理均呈現均勻分布，未有明顯差異。由本次試驗結果可知，以高畦離水方式種植有機檳榔心芋，並於每公頃田區放養 1,250、2,500 及 5,000 尾單尾重約 570 g 的紅尼羅魚，其所生產檳榔心芋單粒重及產量均與未放養魚隻的高畦有機栽培模式相當，甚至每公頃放養 2,500 尾紅尼羅魚的處理之芋產量更高於未養魚對照組 (表 2)，可見放養紅尼羅魚對高畦栽培有機檳榔心芋並未有負面效果。

本次試驗期間宜蘭地區因降雨量較少，梅雨季降雨日數及雨量均明顯低於往年，原規劃 5 月上旬梅雨季初期即可放養魚隻，然降雨日數過少致田區供水不足，6 月中旬魚隻放養後降雨狀況亦未達預期，供水不穩且偏少，常有田區停灌的情形，致使本年度魚隻活存率不佳，且檳榔心芋生長亦受供水不穩定而稍有受阻，進而影響整體評估結果代表性，須進行數次試驗評估以確認魚隻放養密度對魚芋共生模式的影響。

據花蓮區農業改良場先前試驗及有機

表 2　紅尼羅魚放養密度對魚芋共生模式之芋採收率、不良品比率、單粒重、年產量及乾物量的影響

魚放養密度 (尾/公頃)	採收率 (%)	不良品比率 (%)	單粒重 (g)	年產量 (kg/公頃)	乾物量 (%)
0	40.3	65.7	209.8	4,227.5	34.3[a]
1,250	37.3	66.7	203.8	3,800.9	33.3[ab]
2,500	42.7	70.0	211.4	4,513.4	30.3[b]
5,000	37.5	62.5	199.7	3,744.4	31.0[ab]

同一欄數值標有不同英文字母者，表示有顯著差異，$p < 0.05$

採收率(%) = 採收粒數/種植株數 × 100(%)

不良品比率(%) = 不良品粒數/採收粒數 × 100(%)；不良品包含球莖外觀有顯著蟲孔、腐爛者

年產量 = 採收率 × 單粒重 × 50,000 (株/公頃)

乾物量(%) = 單粒乾重/單粒鮮重 × 100(%)

檳榔心芋栽培農友經驗顯示，有機栽培檳榔心芋單粒重、品質等相較於慣行栽培者有明顯較差。而本次魚芋共生試驗田區因前期未耕作，試驗前整地作畦並定植芋苗後即大量萌生雜草，雖經人工陸續拔除，惟雜草生長快速致效果不佳，而使檳榔心芋生長前期情況較差，生長緩慢現象持續到中後期，並影響到採收產量；且因數年未翻耕，整地時不易維持精細水平，故作畦後各處理田區水深高低較參差，因此試驗各處理調查所得之採收率、良品率、單粒重、產量等除了較預期為低之外，處理內及處理間表現較不整齊，致使處理間無顯著差異。而芋頭外觀雖較不理想，但因有機生產無法使用化學肥料及防治資材，試驗前即預期其外觀不易維持慣行栽培常見之橢圓形，且依試驗合作農友經驗，有機芋頭出貨對外觀要求較不嚴格，外型較差者出貨價格與外觀較佳者相同，因此外觀表現較差並不影響有機檳榔心芋出貨價格。

三、魚隻放養對魚芋共生產值的影響

針對本試驗中每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾紅尼羅魚等三種處理及不放養魚對照組進行生產效益分析，在檳榔心芋收益方面，依據 2017 年三星鄉行健村有機芋售價 80 元/kg 估算，對照組檳榔心芋收益為 338.2 千元/公頃，而每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾紅尼羅魚等三種處理的檳榔心芋收益分別為 304.1、361.1 及 300 千元/公頃。在紅尼羅魚收益方面，三種處理的魚隻活存率分別為 65.1、61.2 及 51.5%，放養 4.5 個月後魚隻重分別為 670.1、651.3 及 661.5 g/尾，換算後三種處理之收獲魚重分別為 545.3、996.5 及 1,703.4 kg/公頃。雖然目前市面上尚未有正式驗證之有機水產品，但以合作農友前幾年進行魚菱共生後之紅尼羅魚試銷價 250 元/kg 作為計算基準，三種處理紅尼羅魚收益分別為 136.3、249.1 及 425.9 千元/公頃 (表 3)。

在各處理的成本估算方面，分別納入魚種、芋種苗、有機肥、蟲害防治及人力部分。在魚種部分，各放養處理放養魚隻約為 570 g 重，以紅尼羅魚市價約 133.3 元/kg 計算，每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾的魚隻成本分別為 95、190 及 380 千元/公頃，對照組則無魚隻成本。在檳榔心芋種苗部分，各處理均需 50,000 株種苗，以每株 1.7 元計算，成本均為 85 千元/公頃。在有機肥部分，每公頃施用 2,000 kg，成本 25 千元，各處理均相同。蟲害防治僅防治福壽螺，不放養魚對照組施用苦茶粕 400 kg/公頃，成本 8 千元，其他處理則無。在人力成本方面，扣除植株及魚隻田間管理等自家人力成本後，各處理及對照組在芋苗定植、芋頭採收部分人力成本約為 63 千元/公頃 (以每工 1,500 元/天計算)，而在魚放養及收獲人力成本方面，每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾三種處理及對照組分別為 15、20、25 及 0 千元/公頃 (表 3)。

由表 3 內容可知，每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾紅尼羅魚三種處理及對照組的總收益分別為 440.4、610.2、725.9 及 338.2 千元/公頃，而成本則分別為 283、383、578 及 181 千元/公頃，以總收益扣除

成本之後，各處理的淨收益分別為 157.4、227.2、147.9 及 157.2 千元/公頃。由此結果可知，本次有機檳榔心芋田區放養紅尼羅魚測試，以放養 2,500 尾/公頃處理表現最佳，淨收益最高，可較無放養紅尼羅魚對照模式增加 44% 左右的獲利，然本次試驗期間氣候及供水異常導致檳榔心芋產量及紅尼羅魚活存率均受影響，需再進一步探討。

表 3　魚芋共生有機生產效益分析

	魚放養密度 (尾/公頃)				備註
	0	1,250	2,500	5,000	
收益(千元/公頃) (檳榔心芋+紅尼羅魚)	338.2	440.4	610.2	725.9	
檳榔心芋					
收穫量(kg/公頃)	4,227.5	3,800.9	4,513.4	3,744.4	
單價(元/kg)	80	80	80	80	有機檳榔心芋 80 元/kg
收益(千元/公頃)	338.2	304.1	361.1	300.0	
紅尼羅魚					
活存率(%)	-	65.1	61.2	51.5	
收獲魚重(g/尾)	-	670.1	651.3	661.5	
魚獲量(kg/公頃)	-	545.3	996.5	1,703.4	
單價(元/kg)	-	250	250	250	有機農友試銷有機田區養殖魚，售價 250 元/kg
收益(千元/公頃)	0	136.3	249.1	425.9	
成本(千元/公頃)	181.0	283.0	383.0	578.0	
紅尼羅魚	0	95.0	190.0	380.0	放養尾數×0.57kg/尾×133.3 元/kg
檳榔心芋種苗	85	85	85	85	以每株 1.7 元計算，50,000 株/公頃
有機肥	25	25	25	25	100 包(2,000kg)/公頃×250 元/包
蟲害(福壽螺)防治	8	0	0	0	苦茶粕 20 包(400kg)/公頃×400 元/包
人力(檳榔心芋定植)	31.5	31.5	31.5	31.5	以每工 1,500 元/天計算，共 7 天，每天 3 工
人力(檳榔心芋採收)	31.5	31.5	31.5	31.5	以每工 1,500 元/天計算，採收 7 天，每天 3 工(不包含田間管理部分之自家人力成本)
人力(魚放養及收獲)	0	15	20	25	
淨收益(千元/公頃) (收益-成本)	157.2	157.4	227.2	147.9	

參考文獻

呂秀英、呂椿堂、陳烈夫 (1999) 水芋收穫指數的動態模式。中華農業研究，48(2): 86-99。

林文華 (2009) 水生植物食用價值之開發運用。水生植物多樣性開發與利用研討會專刊，花蓮區農業改良場，127-140。

林文華 (2013) 「魚茭共生」有機茭白筍栽培新模式。農友，64(11): 6-8。

林文華 (2014) 魚茭共生-與環境和諧相處的產業模式。有機誌，88: 82-85。

林文華 (2016) 新型態有機休閒組合-「魚茭共生」。有機栽培農法農業專訊，98: 13-16。

陳烈夫 (1996) 水芋收穫指數與乾物質生產分配之關係。中華農業研究，45(2): 174-185。

黃祥益、黃賢喜 (1995) 芋。台灣農家要覽 農作篇(二)，豐年社編印，295-300。

楊大吉、林立、葉育哲、陳任芳、游之穎、張同吳、劉啟祥、楊素絲、林文華、邱淑媛、許志銘、劉興榮 (2014) 東部有機產業與休閒樂活廊道之建構(宜蘭、花蓮地區)。行政院農業委員會花蓮區農業改良場 103 年度科技計畫研究報告。

Chen, C. T. and W. H. Lin (2013) Innovative management of ecological agriculture in R.O.C. *In* Center of Excellent on Green Productivity, Asian Productivity Organization, China Productivity, 14-19.



漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號 :75-84, 2020

多溫層海水魚藻共生系統開發

黃侑勛、李沛珊、陳玉萍、謝易叡、何源興
行政院農業委員會水產試驗所東部海洋生物研究中心

摘要

本篇研究團隊自 2018 年開始建構多溫層海水魚藻共生系統，應用於具養殖潛力且具高經濟價值養殖物種之複合式生產，利用多種生物之最適養殖溫度不同與營養源不同之特性，形成一個互利的養殖系統，可減少在養殖過程中對環境的衝擊破壞，避免大量耗水和污染環境，達到生態養殖之目的。未來更希望可將更多種高經濟養殖生物引入本系統進行養殖生產，收集養殖相關基礎數據並探求本系統對各物種成長之影響效果。2020 年則應用多溫層海水魚藻共生系統，組合牙鮮 (*Paralichthys olivaceus*)、凡納對蝦 (*Litopenaeus vannamei*，俗稱白蝦)、石蓴 (*Ulva lactuca*) 及滸苔 (*U. linza*) 等高經濟水產生物以進行複合式養殖，建立室外養殖模式並評估其養殖效益，發展對環境友善之養殖系統，降低生產成本，提高養殖收益及產業競爭力。

關鍵詞：多溫層、海水魚藻共生系統、牙鮮、長莖葡萄蕨藻、葡萄藻、石蓴、滸苔、凡納對蝦(白蝦)

前言

近年來受到氣候變遷的影響，如何節約用水、提高水利用率為當前迫切且重要的課題。水產養殖業是國內重要產業，傳統水產養殖過程大多以換水的方式來維持水質，然而養殖用水往往未經妥善處理便排放至環境中，廢水中尤以養殖物的排泄物、溶失的飼料、藻菌團塊及其他富含氮、磷及碳水化合物等可再利用之物質為主，而導致以下問題：(1)天然棲地的破壞；(2)疾病的擴散；(3)降低生物多樣性；(4)污染地表水以及地下水，並且有可能導致水體優養化。另外水產養殖在追求產量的同時，可能造成水質惡化、疾病頻傳、生物免疫力下降、甚至是過度用藥產生抗藥性菌株及藥物殘留對食物鏈末端的人類帶來病變等問題，使得近年來生態化水產養殖 (ecological aquaculture，簡稱生態養殖) 的觀念逐漸被提倡且推行。生態養殖的實踐有幾個重要的面向，包含生產安全健康之產品、產出排放對環境友善、節能、節水、節電、綠色飼料之使用以減低對海洋魚粉的利用等，發展出複合式養殖的形式，而為了減少造成環境負擔之養殖廢水，此等複合式養殖之概念近年已應用在淡水之魚菜共生系統。魚菜共生 (aquaponics) 是結合水產養殖 (aquaculture) 及水耕栽培 (hydroponics) 而成之水產養殖模式，是一

種可以永續發展的養殖系統，而相較於淡水之魚菜共生系統已發展多年，海水的魚菜共生系統之相關研究則較少，與之相關的研究可以參考海藻與水生生物之混養模式。為了減少造成環境負擔之養殖廢水，海藻與水生生物之混養模式已被有效使用於改善養殖池環境，利用海藻過濾之方式，在養殖環境中建立一個小規模且可自行平衡之生態系統 (Chopin et al., 2001; Troell et al., 2003)，以人工飼料作為能量來源，除了可供應水生生物營養需求，殘餌以及動物排放之糞便則可供應海藻作為直接或間接營養源利用，而海藻吸除營養鹽所形成的過濾、淨化水質效果，可減少養殖廢水對環境造成的影響，盡量降低養殖設施排放過多營養鹽導致周遭環境的污染情形 (Schuenhoff et al., 2003)。海藻生物過濾對養殖池廢水處理已被證明其功用 (Neori et al., 2003)，多位學者研究指出龍鬚菜 (Buschmann et al., 1994; Troell et al., 1999; Nelson et al., 2001; Jones et al., 2002)、石蓴 (*Ulva lactuca*) (Dvir et al., 1999; Neori et al., 2000) 與海帶 (Luning, 2002) 等海藻作為養殖池中之生物過濾系統，對無機物吸收效率相當高，例如石蓴與鮑魚混養，除了能減少養殖池中 80% 的總氨氮，且鮑魚將石蓴作為額外的食物來源，可使成長效果增加 1 倍 (Neori et al., 2000)；石蓴能降低金頭鯛 (*Sparus aurata*) 養殖池水中最高達 85% 的總氨氮 (Vandermeulen and Gordin, 1990)，冬季與夏季降低無機氮分別為 1.1 與 2.2 g/m^2/day (Jiménez del Río et al., 1996)，而石蓴養殖密度達 1 kg/m^2 時，能降低養殖池水中高達 90% 的總氨氮 (Shpigel et al., 1993)。另外魚藻共生之相關應用還有中國山東以長牡蠣 (*Crassostrea gigas*)、扇貝 (*Chlamys farreri*) 及海帶 (*Laminaria japonica*) 混養，用海帶處理貝類排泄後之營養鹽 (Nunes et al., 2003)；智利將鮭魚 (*Salmo salar*) 與龍鬚菜 (*Gracilaria* sp.) 混養，利用龍鬚菜吸收鮭魚排放出來之氨氮等營養鹽以降低藻類和細菌等微生物生長，同時可收成龍鬚菜增加收入 (Troell et al., 2009) 等。

為了減少傳統養殖對環境的衝擊，目前水產養殖產業逐漸開始重視循環水養殖、生態養殖、魚菜共生養殖等對環境較為友善的方法進行養殖生產，以兼顧永續漁業之發展。水產試驗所東部海洋生物研究中心近年已完成多種高經濟價值之冷水性魚類及大型藻類之養殖技術，如牙鮮 (*Paralichthys olivaceus*) 繁養殖技術開發、條石鯛 (*Oplegnathus fasciatus*) 人工繁養殖技術開發及葡萄藻之培育及利用之研究。於牙鮮繁養殖技術開發，已完成牙鮮人工繁殖技術之建立及不同培育溫度與鹽度對仔稚魚成長之影響研究，目前正在進行不同養殖密度對牙鮮仔稚魚成長表現影響之試驗；於葡萄藻之培育及利用之研究，已完成不同光照強度及不同營養鹽來源對長莖葡萄蕨藻 (*Caulerpa lentillifera*) 及葡萄藻 (*Botryocladia leptopoda*) 成長表現之試驗。因此本研究運用複合式生態養殖與魚菜共生系統的概念下，結合臺東地區所取得的深層海水，以及多年來對於低溫性水產生物的

繁養殖研究成果，建立多溫層海水魚藻共生系統，進行海水高經濟價值之魚、蝦、貝類及藻類的複合式生產，期能有效利用養殖過程所產生之廢棄物，減少對水資源之需求並降低養殖廢水對周遭環境之污染，達到農業資源循環利用的目的。

材料與方法

一、室內型皺紋盤鮑、長莖葡萄蕨藻、牙鮮、葡萄藻及白蝦系統開發

於 2018 年開始在水產試驗所東部海洋生物研究中心進行室內型多溫層海水魚藻共生系統之開發，工作項目為：建置多溫層海水魚藻共生系統以應用於水產養殖並進行養殖相關試驗，收集及分析生物成長數據，試驗生物包括皺紋盤鮑 (*Haliotis discus hannai*)、長莖葡萄蕨藻、牙鮮、葡萄藻及凡納對蝦 (*Litopenaeus vannamei*，俗稱白蝦)，系統概念如圖 1 所示。

在設備架設及試運轉完成後，開始於系統中投入皺紋盤鮑、長莖葡萄蕨藻、牙鮮、葡萄藻及白蝦等 5 種高經濟水產養殖生物 (圖 2－6)，上述之物種經過馴養適應系統環境後開始進行養殖試驗，試驗期間為 6 週。

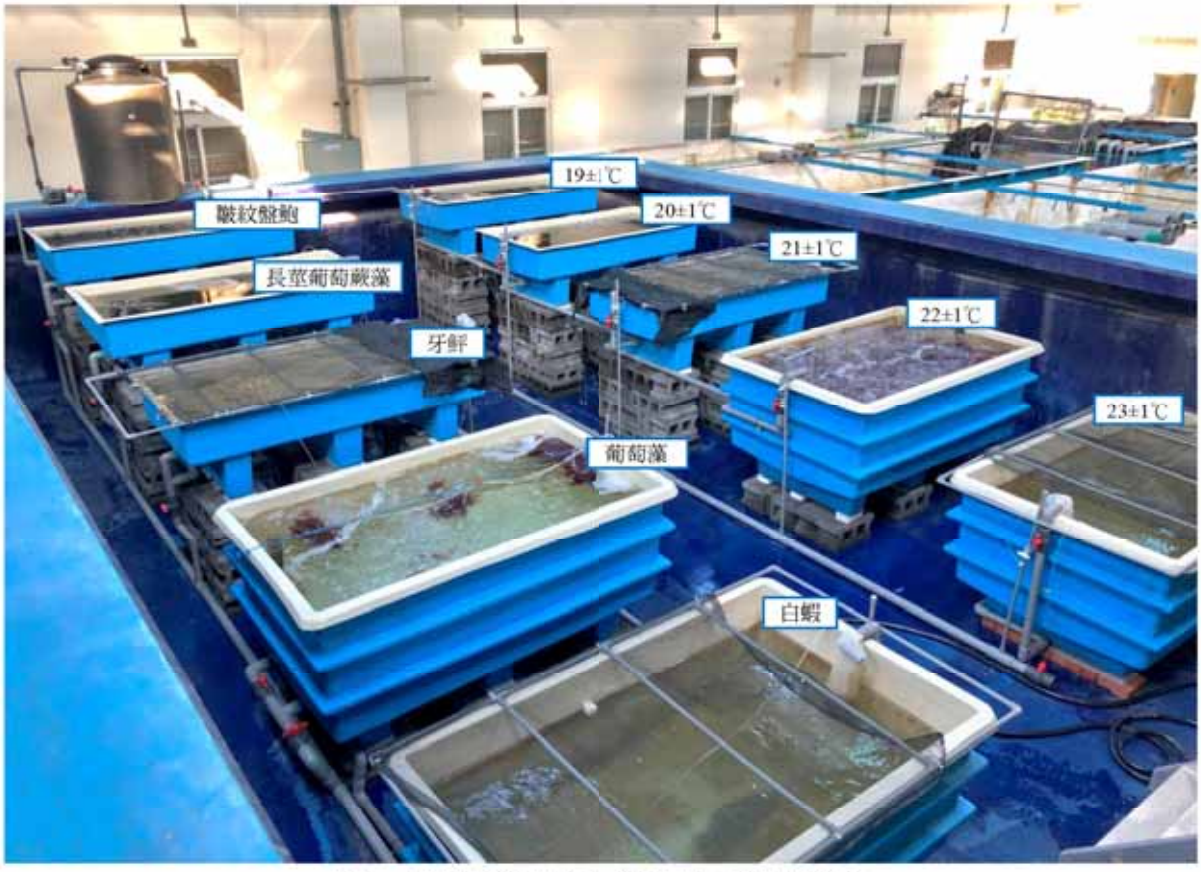


圖 1　室內型多溫層海水魚藻共生系統設計概念



圖 2　皺紋盤鮑



圖 3　長莖葡萄蕨藻



圖 4　葡萄藻



圖 5　白蝦



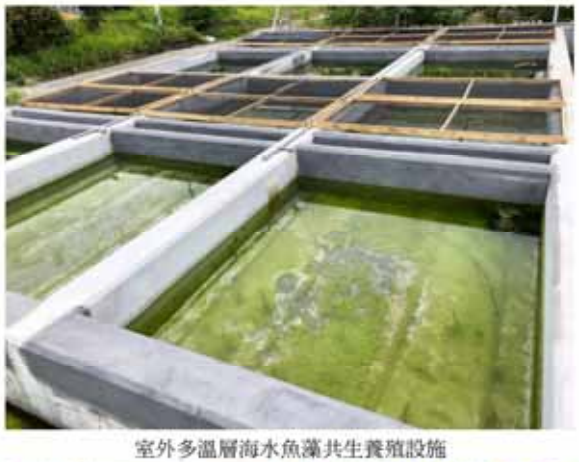
圖 6　牙鮮

二、室外型牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻系統開發

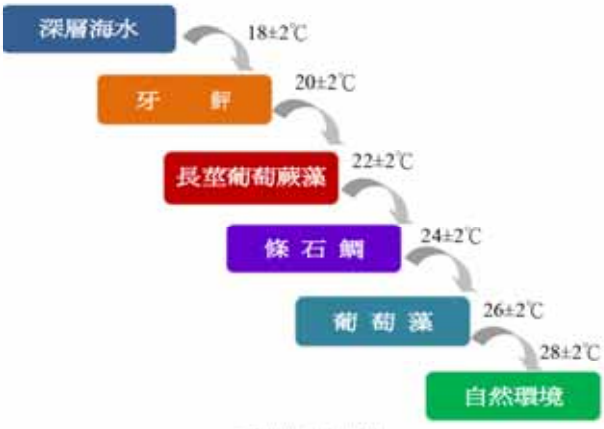
在 2018 年完成室內型模組後，於 2019 年開始進行室外型多溫層海水魚藻共生系統之建置，並將原有之戶外貝類育苗池加以整建，修建後養殖設施與系統概念如圖 7 所示。每組串接養殖組包括魚類養殖池和大型藻類池，共 4 池，水流方向依序為牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛 (圖 8) 及葡萄藻，試驗設計水溫為牙鮮飼育池之 18 ± 2℃、長莖葡萄蕨藻培育池之 20 ± 2℃、條石鯛飼育池之 22 ± 2℃，最後葡萄藻培育池則為 24 ± 2℃，此即為多溫層之概念；各池養殖用水經簡易過濾後供下一池使用，希望將養殖動物後水中殘存之營養鹽供給藻類使用。串接養殖組共設立 3 組養殖系統，單獨養殖組則利用與試驗池相同面積與水體大小之養殖池分別進行牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻之單獨養殖，以深層海水及表層海水混合調整溫度，使溫度控制與串接養殖組中相同物種之池水溫度相同，並調整進水量與串接養殖組之進水量相同，以比較串接養殖組與單獨養殖組之各物種成長效果。本試驗以牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻等 4 種高經濟水產養殖生物進行複合式生產養殖測試。



圖 8　條石鯛



室外多溫層海水魚藻共生養殖設施



系統設計示意圖



牙鮮



長莖葡萄蕨藻



條石鯛



葡萄藻

圖 7　室外型多溫層海水魚藻共生系統設計概念

三、室外型牙鮮、石蓴、白蝦及澀苔系統開發

(一) 魚、藻類循環養殖系統的建構

以牙鮮、石蓴、白蝦及澀苔 (*U. linza*) 進行複合式養殖試驗，每組串接養殖組包括魚類養殖池和大型藻類池各 2 池，4 池為 1 組，水流方向依序為：牙鮮→石蓴→白蝦→澀苔，牙鮮養殖密度為 50 尾/m^2，白蝦養殖密度為 80 尾/m^2，藻類則分為 500、1,000 及 2,000 g/m^2。水溫調整為牙鮮飼育池之 19 ± 2℃、石蓴培育池之 21 ± 1℃、白蝦飼育池之 23 ± 1℃，最後澀苔培育池則為 25 ± 1℃；串接養殖組各池養殖用水經簡易過濾後供下一池使用，串接養殖組共設立 3 組養殖系統。單獨養殖組則利用與試驗池相同面積養殖池，分別進行牙鮮、石蓴、白蝦及澀苔之單獨養殖，以深層海水及表層海水混合調整溫度，使溫度控制與串接養殖組中相同物種之池水溫度相同，並調整進水量與串接養殖組之進水量相同，試驗期間水交換率為每日 3－4 次。養殖試驗期間為 6 週，收集生物成長數據並進行統計分析，比較串接養殖組與單獨養殖組之成長效果，並探討藻類最適養殖密度及週期。

(二) 降低水交換率

2019 年進行試驗時之水交換率為 6－8 次/日，2020 年試驗設計將水交換率降低至 3－4 次/日，試驗結束後整理數據以進行統計分析，並與 2019 年結果比較，以探討水交換率降低時，串接養殖組與單獨養殖組及不同養殖密度對大型藻類之成長效果是否有差異，以期在不影響養殖生物成長表現的情況下達到節水的目標。

結果與討論

一、室內型皺紋盤鮑、長莖葡萄蕨藻、牙鮮、葡萄藻及白蝦系統

2018 年試驗結果，試驗生物成長表現如圖 9 所示，以本系統進行皺紋盤鮑、長莖葡萄蕨藻、牙鮮、葡萄藻及白蝦等 5 種高經濟水產養殖生物之養殖試驗，結果各物種成長資料整理如下：皺紋盤鮑：初始體重為 2.06 ± 0.28 g 及 2.13 ± 0.18 g，6 週後串接養殖組與單獨養殖組之增重率無顯著差異 (經 *t* 檢定，$p \geq 0.05$)；長莖葡萄蕨藻：初始重量均為 14 kg，6 週後串接養殖組藻片增重率為 51.79 ± 12.28%，單獨養殖組之增重率為 18.57 ± 1.96%，經 *t* 檢定分析後發現串接養殖組成長效果顯著優於單獨養殖組 ($p < 0.05$)；牙鮮：初始體重為 92.33 ± 1.41 g 及 121.83 ± 2.12 g，6 週後串接養殖組之增重率為 34.10 ± 8.96%，單獨養殖組之增重率為 31.58 ± 5.02%，各組間無顯著差異；葡萄藻：初始重量均為 6 kg，6 週後串接養殖組之增重率為 55.50 ± 1.89%，單獨養殖組之增重率為 33.54 ± 5.13%，串接養殖組成長效果顯著優於單獨養殖組；白蝦：初始體重為 0.60 g，6 週後串接養殖組之增重率為 525.00 ± 82.50%，單獨養殖組之增重率為 375.00 ± 82.50%，串接養殖組成長效果顯著優於單獨養殖組。綜合上述資料所示，除了皺紋盤鮑及牙鮮以外，兩種大型海藻及白蝦之成長效果均為串接養殖組顯著優於

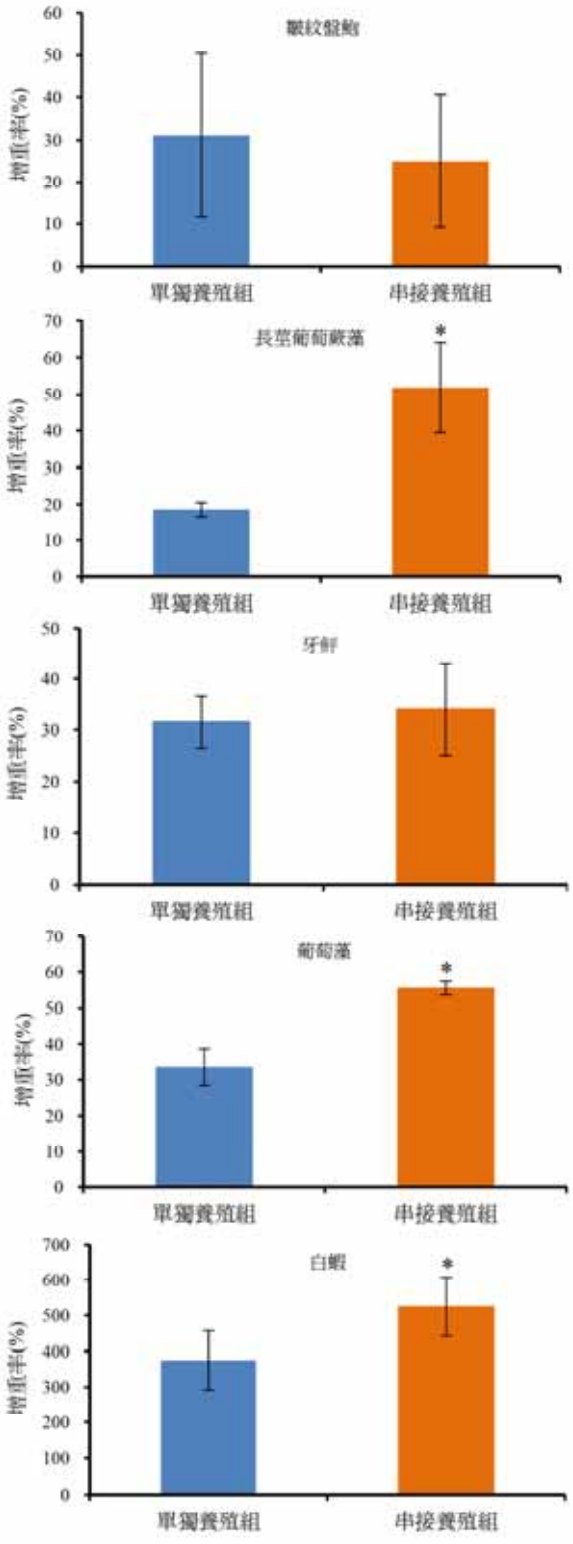


圖 9　室內型養殖系統皺紋盤鮑、長莖葡萄蕨藻、牙鮮、葡萄藻及白蝦之成長表現(*表示串接養殖組與單獨養殖組有顯著差異，$p < 0.05$)

單獨養殖組。

二、室外型牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻系統

2019 年試驗生物成長表現結果如圖 10 及圖 11 所示，以牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻等 4 種高經濟水產養殖生物進行複合式生產養殖試驗，成長數據經 *t* 檢定分析後，結果顯示長莖葡萄蕨藻 2,000 g/m^2 組、條石鯛及葡萄藻 500、1,000 與 2,000 g/m^2 組之增重率均為串接養殖組顯著優於單獨養殖組。綜合上述資料所示，除牙鮮以外，兩種大型海藻及條石鯛之成長效果均為串接養殖組顯著優於單獨養殖組。

應用本系統於高經濟價值之魚類及大型藻類複合式養殖（串接養殖組）生產所產生之節水效益，與單獨養殖組之養殖模式相較，以本次試驗養殖設施水體大小為例，養殖池每池水體約為 4 公噸 (2.8 × 2.3 × 0.65 m)，以 4 池串連為一組養殖系統，水交換率為每日 6 次，即每日需要用水 4 × 6 = 24 公噸，而未利用本養殖系統之相同水體之單獨養殖用水量每日將為 4 × 4 × 6 = 96 公噸，因此應用本系統進行高經濟價值之魚類及大型藻類複合式養殖，每日將可節省至少 72 公噸之海水用量，亦即可達 75% 之節水效率。

應用本系統對養殖生物產值增減之影響，經初步評估以長莖葡萄蕨藻及葡萄藻之產量差異做比較。長莖葡萄蕨藻以 2,000 g/m^2 組之串接養殖組成長效果顯著優於單獨養殖組，於養殖 6 週後，串接養殖組重量 (3355.33 ± 41.63 g) 較單獨養殖組 (2758.67

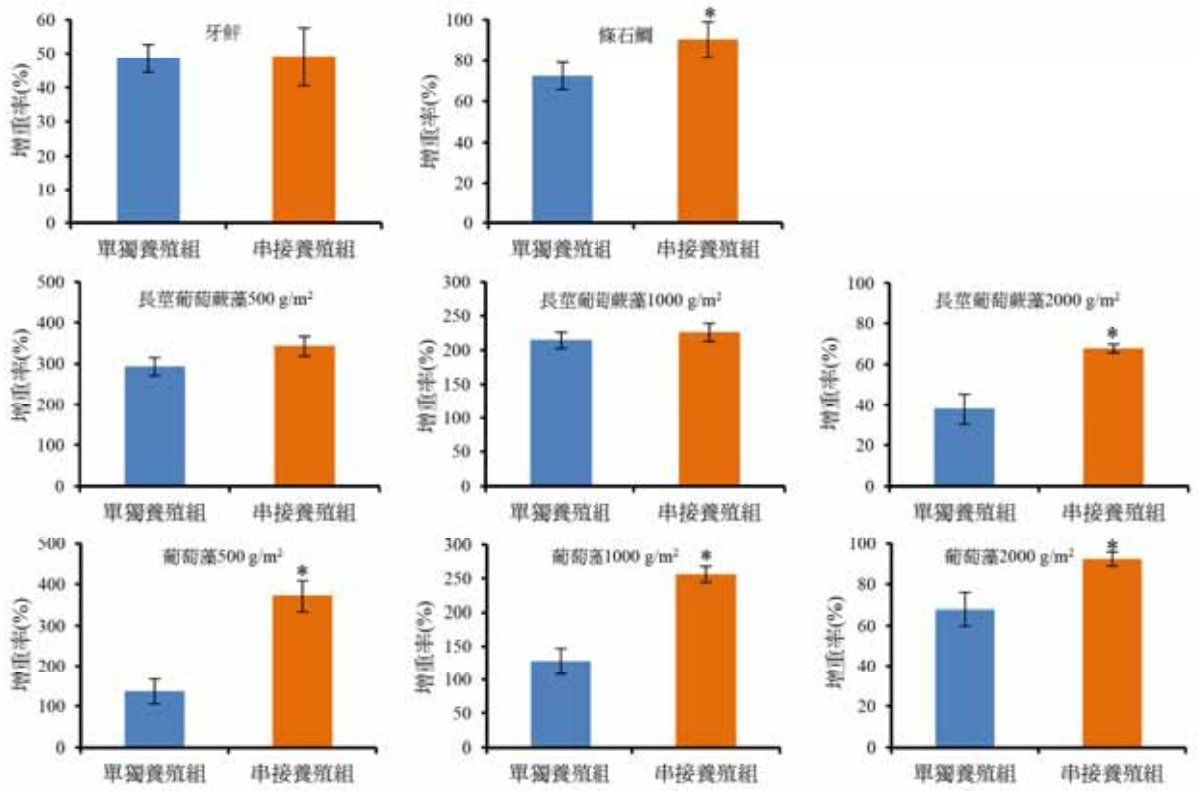


圖 10　室外型養殖系統牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻之成長表現(*表示串接養殖組與單獨養殖組有顯著差異，$p < 0.05$)



圖 11　室外型牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻系統養殖成果

± 151.77 g) 增加 596.66 g，粗估應用本系統進行魚類及藻類之複合式養殖，與單獨進行長莖葡萄蕨藻之養殖相較，每年約可增加 5 kg/m^2 之長莖葡萄蕨藻，以本系統養殖池面積計算，單一養殖池底面積約為 6 m^2，估計每年可增加 30 kg 之長莖葡萄蕨藻產量。葡萄藻各組成長數據均以串接養殖組顯著優於單獨養殖組，以試驗期間 6 週之增重量比較，500 g/m^2 組串接養殖組較單獨養殖組增加 1,177 g、1,000 g/m^2 組串接養殖組較單獨養殖組增加 1,283 g、2,000 g/m^2 組串接養殖組較單獨養殖組增加 491 g，因此以 1,000 g/m^2 組為例進行計算，粗估應用本系統進行魚類及藻類之複合式養殖，與單獨進行葡萄藻之養殖相較，每年約可增加 11 kg/m^2 之葡萄藻，以本系統養殖池面積計算，單一養殖池底面積約為 6 m^2，估計每年可增加 66 kg 之葡萄藻產量。

三、室外型牙鮮、石蓴、白蝦及澀苔系統

2020 年試驗生物成長表現結果如圖 12 所示，牙鮮、石蓴、白蝦及澀苔等 4 種高經濟水產養殖生物進行複合式生產養殖試驗，結果顯示試驗進行 6 週後，牙鮮、白蝦及石蓴 1,000 g/m^2 組之增重率均為串接養殖組優於單獨養殖組，但無顯著差異。

結論

水產試驗所經多年試驗，將養殖、栽培、硝化過濾及水質監測等設備模組化，成功打造出以淡水養殖魚種搭配蔬菜作物的魚菜共生系統 (黃等，2017)，並進一步將概念延伸到海水養殖，發展出高經濟海水魚蝦類與藻類的複合式海水養殖系統。參考本研究 2019 年之試驗結果，應用本系統進行水產養殖之節水效率最高可達 75%，而以本系統養殖設施進行牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻的複合式養殖，單一組複合式養殖設施面積約為 24 m^2，每年可較單獨養殖牙鮮、長莖葡萄蕨藻、條石鯛及葡萄藻增加 30 kg 之長莖葡萄蕨藻與 66 kg 之葡萄藻之產量。以 2019 年試驗成果推論，利用多溫層海水魚藻共生系統進行冷水性高經濟價值水生物種的複合式養殖，確實可達到節水之目的，且可縮短長莖葡萄蕨藻及葡萄藻等大型藻類的養殖時間，並能有效利用養殖過程所產生之廢棄物，降低養殖廢水對周遭環境之污染，達到農業資源循環利用的目的。未來將繼續投入更多物種於本系統之養殖應用，期使本系統更臻完善，期可兼顧養殖產業之養殖收益與減少用水及排放廢水，而減少養殖廢水的產生即可減少因處理廢水所需能量及濾材之成本投入，達到節能之目的。

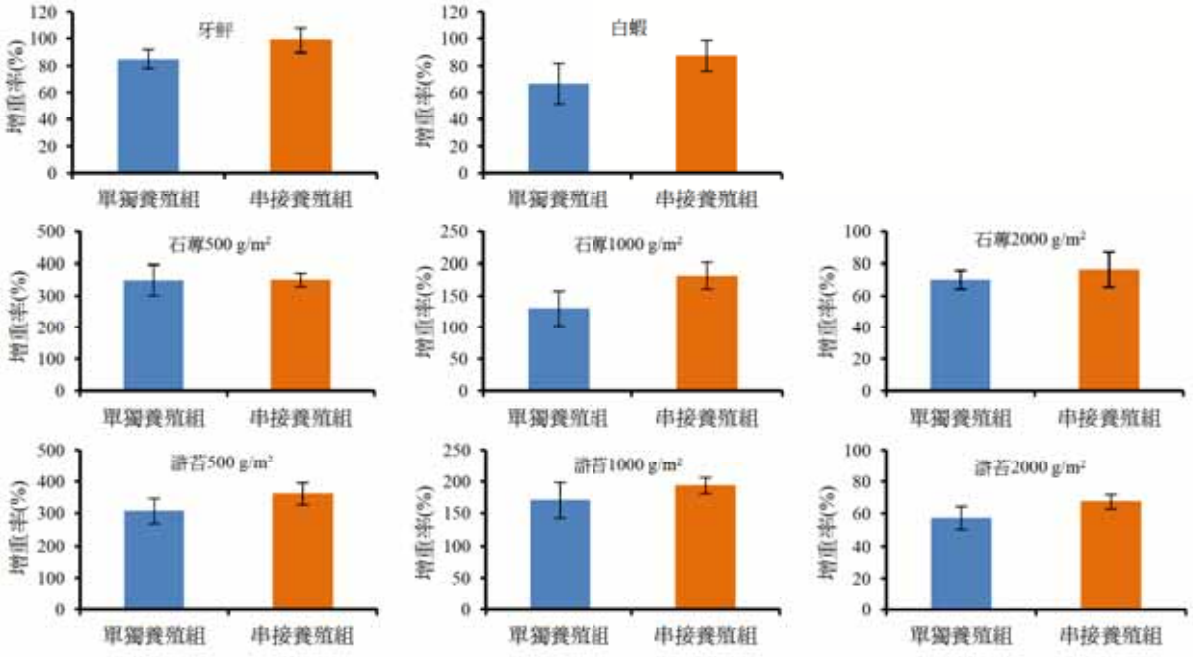


圖 12　室外型養殖系統牙鮮、石蓴、白蝦及澀苔之成長表現

參考文獻

黃德威、薛守志、劉于溶、楊順德 (2017) 養殖水耕－魚菜共生。水產試驗所技術手冊 11，56 pp。

Buschmann, A. H., O. A. Mora, P. Gómez, M. Böttger, S. Buitano, G. Retamales, P. A. Vergara and A. Gutierrez (1994) *Gracilaria chilensis* outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon effluents. Aquacult. Eng., 13: 283-300.

Chopin, T., A. H. Buschmann, C. Hallin, C. Troell, N. Kautsky, A. Neori, G. P. Kraemer, J. A. Zertuche-Gonzalez, C. Yarish and C. Neefus (2001) Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key towards sustainability. J. Phycol., 37: 975-986.

Dvir, O., J. V. Rijn and A. Neori (1999) Nitrogen transformations and factors leading to nitrite accumulation in a hypertrophic marine fish culture system. Mar. Ecol. Prog. Ser., 181: 97-106.

Jiménez del Río, M., Z. Ramazanov and G. García-Reina (1996) *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. Hydrobiologia, 326: 61-66.

Jones, A. B., N. P. Preston and W. C. Dennison (2002) The efficiency efficiency and condition of oysters and macroalgae used as biological filters of shrimp pond effluent. Aquac. Res., 33: 1-19.

Luning, K. (2002) SEAPURA: Seaweeds purifying effluents from fish farms: An EU project coordinated by the Wadden Sea Station Sylt. Wadden Sea Newsletter 2001-2, 20-21 pp.

Nelson, S. G., E. P. Glenn, J. Conn, D. Moore, T. Walsh and M. Akutagawa (2001) Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. Aquaculture, 193: 239-248.

Neori, A., F. E. Msuya, L. Shauli, A. Schuenhoff, K. Fidi and M. Shpigel (2003) A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture. J. Appl. Phycol., 15: 543-553.

Neori, A., M. Shpigel and D. Ben-Ezra (2000) A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. Aquaculture, 186: 279-291.

Nunes, J. P., J. G. Ferreira, F. Gazeau, J. Lenceart-Silva, X. L. Zhang, M. Y. Zhu and J. G. Fang (2003) A model for sustainable management of shellfish polyculture in coastal bays. Aquaculture, 219: 257-277.

Schuenhoff, A., M. Shpigel, I. Lupatsch, A. Ashkenazi, F. E. Msuya and A. Neori (2003) A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. Aquaculture, 221: 167-181.

Shpigel, M., A. Neori, D. M. Popper and H. Gordin (1993) A proposed model for "environmentally clean" land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. Aquaculture, 117: 115-128.

Troell, M., A. Joyce, T. Chopin, A. Neori, A. H. Buschmann and J. G. Fang (2009) Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. Aquaculture, 297: 1-9.

Troell, M., C. Halling, A. Neori, T. Chopin, A. H. Buschmann, C. Yarish, N. Kautsky and C. Yarish (2003) Integrated mariculture: asking the right questions. Aquaculture, 226: 69-90.

Troell, M., N. Kautsky and C. Folke (1999) Applicability of integrated coastal aquaculture system. Ocean Coastal Management, 42: 63-69.

Vandermeulen, H. and H. Gordin (1990) Ammonia uptake using *Ulva* (Chlorophyta) in intensive fishpond system: mass culture and treatment of effluent. J. Appl. Phycol., 2: 363-374.



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

漁農共生系統之開發與應用 = Development and application of the integrated agriculture-aquaculture systems/王志瑋等著；楊順德，何源興主編. -- 基隆市：行政院農業委員會水產試驗所，民109.12
面； 公分. --（水產試驗所特刊；第29號）
ISBN 978-986-5449-59-9（平裝）
1.有機農業 2.栽培 3.蔬菜 4.養魚
430.13 109018191



漁農共生系統之開發與應用

Development and Application of the Integrated Agriculture-Aquaculture Systems

發 行 人：陳君如
編輯委員：張錦宜、曾振德、許晉榮、葉信明、曾福生、蔡慧君
主　　編：楊順德、何源興
著　　者：王志瑋、王茗慧、何源興、李沛珊、林文華、陳玉萍、陳俊位、曾喬庸
黃侑勛、黃德威、楊大吉、楊清富、楊順德、劉于溶、劉恩良、潘依玲
薛守志、謝易叡、鍾永廷、藍玄錦、魏良佑 (依姓氏筆劃排序)
校　　稿：何源興、陳富美
責任編輯：陳富美
編　　輯：李周陵
出 版 者：行政院農業委員會水產試驗所
地　　址：基隆市中正區20246和一路199號
電　　話：(02)24622101
傳　　真：(02)24629388
網　　址：https://www.tfrin.gov.tw
印　　刷：彩宏工作室
電　　話：(02)25322032
定　　價：新臺幣 200 元
出版日期：中華民國一〇九年十二月

展 售 處：
1. 五南文化廣場臺中總店　臺中市中山路6號　(04)22260330
2. 國家書店　臺北市松江路209號1樓　(02)25180207
https://www.govbooks.com.tw

GPN 1010901807
ISBN 978-986-5449-59-9

本書內容保留所有權，非經本所同意，不得重製、數位化或轉載。

Development and Application of the Integrated
Agriculture-Aquaculture Systems



ISBN 978-986544959 9
00200
9 789865 449599