

投稿類別：地球科學類

篇名：

互利共生系統之智慧節能應用

作者：

林佳儀。葳格高中。普三甲班

指導老師：

盧建潤 老師

壹●前言

一、研究背景與動機

普遍習慣都市生活的我們，能想像有天我們可以透過養魚，還有小型栽種，來供應我們日常所需的新鮮蔬菜嗎？大廈的屋頂、客廳角落，靠著養魚水灌溉著植物，供應我們個人喜歡的蔬果。近年來各地開始延伸一種概念叫做「魚菜養耕共生」的農耕方式，透過水產養殖和農耕結合的永續產業。這概念現在正慢慢的延伸在世界各地有心人家的各各角落。

但是精密的魚菜共生養殖及栽培設備與其控制裝置，需要消耗不少的電力能源，在講求效率、節省人力及運用可再生能源的前提下，本研究將利用虹吸管原理負責系統內之循環水的流動；運用太陽能原供應養耕池所需耗用的電力；並以監測感知器感應養耕池的溫度(°C)、濕度(%RH)、光線照度(Lux)、光照時間(hr)、養液之溶氧度(DO)值、酸鹼度(pH)值、電導度(EC)值、水流量、水位高度及運作時程……等，透過環控自動化的技術，自動啟動控制器，適度調節各項檢測數值等方式，以達成智慧節能之魚菜互利共生系統。

二、研究目的

(一) 施行環保愛地球，運用可再生能源

近幾年來，由於氣候變遷對人類帶來的警訊，讓各國政府紛紛思考如何減碳節能。然而「魚菜共生」是水產養殖和農產耕作相結合。水產養殖的水需不斷循環，為減少對石化能源的依賴性，本研究將運用太陽能為水循環動力的來源，期待更加符合做到「可持續發展型生態」(Sustainability)，也是當前全世界呼籲挽救地球生態的趨勢。

(二) 運用環控自動化技術，適度調節水資源循環

環境控制在農業上之應用簡稱環控農業，植物工廠是環控農業的一種，目前世界各國已將環控技術導入植物工廠，透過對設施內的環境做精密控制，實現農作物全年穩態量產的高效能農業系統。本研究將借鏡植物工廠環控自動化的部份技術，導入魚菜養耕系統，以感知器監測養耕池的溫度、濕度、光照、CO₂濃度等，藉由適當的設定值判讀感測數值，控制系統依據其控制規則可以高效率進行環控作業。簡易的環控設備，只需要感測、判讀及啟動環控設備，即可在無人力管理的情況下控制所有設備，包括加溫、冷卻、人工光源、水循環與灌溉等。

三、研究方法

本研究以參考相關文獻記載作為依據，將其費力耗源的魚菜養耕系統加以改良，運用太陽能電池將可再生能源儲存及釋放，並將水產養殖、過濾、水質轉換之硝化系統及水耕栽培系統等整合，結合先進的環控自動化技術，讓魚菜養耕互利系統更加環保及智慧。除使養殖及栽培不再耗費水資源及人力，未來更可將環境設施從室外(樓頂)移至室內，除了供應無污染且自給自足的蔬果外，更可將魚菜養耕共生系統納入室內陳設，融入家居生活環境，讓居家充滿綠意及生氣。

因此，本研究將分為四個部份進行探討，第一部分為魚菜養耕共生系統，第二個部份是攸關養殖成敗關鍵的硝化作用，第三部份為再生能源運用，第四個部份為環控自動化技術。若能結合上述環保節能的運用，即可作為未來建築空間發展可持續型生態之參考。

貳●正文

一、魚菜養耕共生系統（生物鏈水耕循環系統）

魚菜養耕也就是一般所稱魚菜共生(Aquaponics)是Aqua=Aquaculture(水產養殖)和ponics=Hydroponic(農產耕作)相結合。Aquaponics是一個在字典上查不到的英文創新字，來自於近代綠生活科技發展所衍生的新字。在國際上，Aquaponics是一個現代因應環保，而發展出的可再生(可持續發展)的最新生態科學。持續發展型生態(Sustainability)，也是當前全世界呼籲挽救地球生態的趨勢。

魚菜養耕共生依場地環境而設計，可分為：水平式與立體式，其主要就是將魚類與蔬菜水果結合，共同生長的應用設施。其原理就是收集養魚的污水，利用魚的排泄物及飼料殘渣，經由水泵送到有硝化作用的蔬菜水耕(礫耕)池，其中的水中懸浮物與有害原素(有機大分子狀)，經硝化菌等益菌的轉化為營養小分子(氮、磷、鉀、鎂、……等)及其他微量元素，以供給植物的水根吸收，輸至葉片經光合作用轉成胺基酸促使植物成長，同時也淨化了水質，再用水泵輸送回魚池，重複循環供給魚類乾淨的再生新水，以保持魚類在無害的水質中健康成長。這種利用水循環交換所需，使三種生物(魚、細菌、植物)互惠互利共同生長的方式，稱為魚菜養耕共生。

魚菜養耕與普通耕作最大的不同，是傳統土耕的作物栽培係將種子或幼苗種植於土壤中，而由土壤提供作物所需的無機要素、水分及空氣，並固定作物使其能順利接受日光，行光合作用而生長。而魚菜養耕則抽取魚的排泄及魚缸的水來為農作物澆水及落肥，這種養農方法，是利用上種菜、下養魚的方式進行，只要

將帶有魚排泄物的水，間隔抽到上面種有蔬菜的種植床，除可作灌溉用之餘，排泄物亦會被微生物分解，變成有用的養分，再被植物吸收。而吸收養分的同時，多餘的水分又可經植物的根部作過濾，再循環到魚缸供養魚之用，形成一個天然的生態系統。

魚菜養耕之循環水系統已實驗於台中區農業改良場開發之動態浮根式水耕栽培技術（註一），利用24小時不斷電時序控制器進行時間控制，每啟動15分鐘停止45分鐘，做為循環週期，運轉時植物栽培床內水位高漲，當水位高於特殊設計之出水排放口時，利用虹吸管之原理造成本系統內之循環水的流動，將養殖池魚類排泄物及飼料殘渣，經由虹吸管排送到蔬菜礫耕池。如此一來植物栽培床內不斷的產生水位之高低變化，就可以增加溶氧量，使得植物根部能夠獲得更多的氧氣，並且避免植物根部一直沉浸於水中而造成爛根。

二、硝化作用

當水中的氨濃度達到水族生物致命濃度，對於任何一種水族生物而言，結果可能都是死亡。但如果水中含有足夠數量的硝化細菌不斷地解除及轉換水中的氨，穩定整個水族生態平衡系統，將可以使水中生物安全地生活於水產養殖環境之中。

在人為的水產養殖系統當中，由於放養了高密度的水族生物、投餵大量的飼料，而促使水中的有毒的氨氮和亞硝酸鹽持續累積，濃度上升，往往造成養殖生物中毒或使其抵抗力降低而生病死亡。雖然換水能夠降低養殖系統的含氮廢物，但長期而言，這不是一個生態上永續經營的方式，因此使用循環水系統將是未來科技化養殖的趨勢。

對於循環水養殖系統來說，水中含氮廢物的處理更顯重要，如何在密閉式的水體當中有效的降低氨氮和亞硝酸鹽將是養殖成敗與否的關鍵。在養殖的設備上，要有硝化細菌的過濾裝置，才能將養殖水中有毒的氨氮和亞硝酸鹽有效的降至安全範圍。硝化細菌所扮演的腳色，就是進行硝化作用，將氨轉變為亞硝酸、將亞硝酸轉變為硝酸，這是兩種硝化細菌分別進行的不同反應。硝化細菌是一種好氧細菌，必須在有氧氣的水中或砂礫中生長，並且在氮循環與水質淨化過程中為極其重要的關鍵。（註二）

亞硝酸菌在水中生態系統中經由亞硝化作用將氨消除（經氧化作用）並生成亞硝酸的細菌類，硝酸菌則經由硝化作用將亞硝酸根轉變為硝酸根。亞硝酸菌屬細菌，一般被稱為氨的氧化者，因其所維生的食物來源是氨，氨和氧化合所生成的物質就足以使其生存。硝酸菌屬則可將亞硝酸分子氧化再轉化為硝酸分子的細菌類。硝酸菌屬細菌，一般被稱為亞硝酸的氧化者，因其所維生的食物來源是亞

硝酸（其他有機物也有可能），它和氧化合可產生硝酸。兩者反應都必須消耗氧氣，溶氧量太低的水體對硝化作用會有負面的影響。

因這些硝化細菌能將水中的有毒的化學物質如：氨(NH₃)和亞硝酸(N₂O)加以分解去除，故有淨化水質的功能。硝化細菌在水質pH 中性、弱鹼性的環境下發揮效果最佳，在酸性水質中發揮效果最差。水產養殖環境之中若存在光合成菌，它將那些有機質或硫化氫等物質加以吸收利用，而使耗氧的微生物因缺乏營養而轉為弱勢，因而降低發生有毒分解產物的條件，而且水產養殖環境之中的水質也藉以得到淨化，而促使養殖的水產生物得以健康的成長。

因此，魚菜養耕共生系統要能維持生態健康平衡，必須設法將魚類所排泄物以及飼料殘渣等有機物，經過循環系統之硝化作用，才能產生植物蔬菜水果生長所需的營養元素--無機物營養鹽。而蔬菜的根系與微生物硝化作用之環境，又是水質處理與淨化的天然最佳生物過濾系統，三者之間所建立的互生關係：(植物--微生物--魚)，實現了養魚與種菜可以同時進行，並且需要的能源最少，是生態農業中一種最完美的結合。

三、可再生能源--太陽光電發電系統（PV System）

可再生能源（Renewable Energy）為來自大自然的能源，例如太陽能、風力、水力能、生物能、地熱能、海洋能等，是取之不盡，用之不竭的能源，會自動再生，不會引起污染，更不會耗盡自然資源或導致全球溫室效應（註三）。面對地球資源的短缺，和傳統利用石化燃料或核能所驅動的電力所引發的污染和安全問題，許多先進國家皆致力發展這些綠色新能源，期待能減少二氧化碳和有害物質的排放，最終達到環境永續及發展永續的理想。

太陽，真的是「無所不能」。太陽，是地球上整個生態系的依憑。今日人們所用的能源，大部分都是太陽賜與的。「簡單地說，太陽是一切能源之母」（註四）。太陽能的供應源源不斷，是一種非常清潔的能源。利用不同的技術，太陽能可以被轉化為熱或者是電。太陽能其實是吸收太陽光轉換而來的。依地理位置，太陽光最強的地方是在「北回歸線以南，南回歸線以北」。依照這個特點，在國內，最好收集太陽能的地方是在台灣的南部。太陽能以利用的型態來區分，可分為「主動式」與「被動式」兩種。主動式又可分成「太陽熱能」及「太陽光能」兩種。主動式太陽能技術，增加能源供應，被認為是供應端的技術；而被動式太陽能技術，減少替代資源的需要，通常被認為是需求端的技術。

太陽能的系統又稱作「無變量的能源系統」。太陽光電發電原理係由可以把0.2 μm ~0.4 μm 波長的太陽光能轉化為電能的半導體元件（太陽能電池）所組成。太陽能電池係一種利用太陽光直接發電的光電半導體薄片，它祇要一照到

光，會產生大量的自由電子，並因電子的移動而產生電流，瞬間就可輸出電壓及電流。因為太陽能電池需要陽光才能運作，所以大部分是將太陽能電池與蓄電池串聯，將有陽光時所產生的電能先儲存起來，好供無日照時放電使用（註五）。但由於太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器則需加裝直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電。

太陽光之照度(Lux)與光照時間(H)，是直接影響到太陽能電池之輸出功率之主要因素，一天之中除了早晨日昇與黃昏日落所造成的太陽光之照度改變之外，晴天時雲朵飄過而造成暫時之遮敝也會使輸出電量大幅滑落，陰天時整個白天太陽光之照度也許都不到晴天時50%的電力輸出，因此平常時白天之電力儲存就非常重要，而光照不足或是夜晚時電力的輸出控制更是直接影響到魚菜系統之生物存活的關鍵因素。

因此，本研究建議在場所戶外安置太陽能光電板，利用太陽能電池模組、蓄電池與充電控制器等進行電力儲存及釋放，以供應魚菜養耕的水循環系統及環境自動監控等之用電，並可驅動24小時不斷電時序控制器進行時間控制，計時器控制將可啟動與停止時間等運作，為確保足夠供應全系統所須耗電，只要在有陽光照射時自動儲存電力，將足夠用以供應整個系統運作所需電力。

四、環境監控及自動化

魚菜養耕池的環控與建築物環控並不相同，魚菜養耕池的環控目的是提供養殖及作物生長最適合環境，所有的環控檢測系統都是針對養殖及作物特殊需求而安裝，包括溫度(°C)、濕度(%RH)、光線照度(Lux)、光照時間(hr)、酸鹼度(pH)值、電導度(EC)值、水流量、水位高度及運作時程……等。

養殖環境之溫度是支配水產生命特性與變化之重要因素之一，水中之魚類，其屬於冷血動物，溫度之稍微改變將對魚類的新陳代謝產生極大影響；因此，當水產養殖環境之溫度升高時，動物整體的活動力將會升高，其水產養殖環境之溫度與魚類之新陳代謝速率大約呈現指數變化關係。且本研究之魚菜共生系統將採全自動養殖，除自動的水循環外，還以定時定量器進行飼料投放。因此，會在養殖過程中衍生出相關問題，例如飼料中所含物質以及魚群的排泄物，或是吃不完的殘餘飼料等，將會造成池中的養殖水受到汙染，並且會消耗掉水中的溶氧量和改變其水質之酸鹼度，其中又以魚類的排泄物對於水質的影響最大。因此，養殖環境監控部份建議採用水質溶氧量測試器、計酸鹼度計、電導與溫濕度計等監測水溶氧、pH值、電導度及水溫等，並視養殖池中監測數值，自動控制啟閉水泵浦或加熱器，讓養殖環境保持有利魚類生長的環境。

傳統的植物栽培方法稱之有土栽培法，就是將植物種子/幼苗栽種於土壤中，由土壤提供植物根部之固定與生長必需之營養素。而魚菜養耕則是利用水耕栽培，為無土栽培法之一種，就是不使用土壤作為栽培介質，而將植物體所需之各種營養成分直接調配於水中(養液)，並利用介質將植物體固持於水面，使植物根部直接吸收水中之營養成分的栽培法(註六)。然而，維持植物所需營養要素有16種，其中以碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫等九種元素稱為主要元素或巨量元素，而將鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼、氯等七種元素稱為微量元素(註七)。這些營養成分內容會依各個不同的吸收型態，加上植物的光合成作用，產生足以供應植物生長的各式營養、能源；在水耕栽培之作業中，培養液(又稱營養液)，即是利用各種不同化合物，在水中溶入這些養分，達到使植物均勻吸收的目的，而這些離子狀態的成分，也就是一般傳統土壤中，經微生物分解後，植物所吸收到的相同營養。

因此，耕作栽培設施環境自動監控系統，就必須針對溫度(°C)、濕度(%RH)、光線照度(Lux)、光照時間(hr)、養液之溶氧度(DO)值、酸鹼度(pH)值、電導度(EC)值、水流量、水位高度、運作時程…等進行監測。最簡單的植物栽培系統是直接使用定時器以固定的頻率控制送液泵的動作，其他參數如溫度、濕度、光線照度、養液的pH值及導電度則以感測器進行檢測並判讀數值，控制系統依據其控制規則，自動啟動進行高效率環控作業，同時管理所有設備，包括加溫、冷卻、人工光源與補水灌溉等。室內耕作環境控制的最高強度作法，就是所謂的「植物工廠」。它可以說是透過完全掌控植物生長的因素，來建立作物可全年生產或計劃性生產的條件進行「耕作」的執行模式，由於包括照明、空調、培養液及環境溫度等均被控制，說是農作物的「工廠自動化」基本上並不為過。

參●結論

本研究經過資料蒐集彙整及相關文獻探討，發現魚菜養耕共生系統中，運用的虹吸原理形成的水循環系統，是極具科學及省能源的作法。其中管道系統的設計尤為重要，如何使栽培蔬菜的水與養殖的水之間形成一個循環系統，達到彼此互利共生的生態效果，前提是需要了解整個循環體系的功能與效用。

微生物科學引入到養殖系統中，也是項環保無污染的創新技術，運用虹吸管將魚類排放之物體及殘餘之飼料，經過循環系統之硝化作用轉換後，成為供給植物成長所需要之養份，而蔬菜的根系與微生物硝化作用之環境，又是水質處理與淨化的天然最佳生物過濾系統。植物、微生物、魚三者之間成為互生關係，實現了養魚與種菜可以同時進行，並且需要的能源最少，是生態農業中一種最完美的結合。

為對抗地球暖化及因應全球能源短缺，以可再生能源取代所需電力是絕對必然的，因為可再生能源是取代耗效資源的最佳永續發展之途徑。因此，透過太陽能電池轉換能量以產生電力，供應魚菜養耕共生系統所需的動能，使得魚菜養耕系統可以達到環保無污染的目標，除了讓能產出有機蔬果及無毒魚蝦之健康食物外，更可減低能源耗損，是未來值得推廣的綠色環保生態。

為有效管理控制養耕池的生態環境，本研究嘗試將已發展接近完備的植物工廠環境監測控制技術，部份導入魚菜養耕系統，協助管理者不再費心於內部微氣候，讓養耕作業藉由精確的感測器及適當的設定值，控制系統依據其控制規則，以高效率進行環控作業。複雜的養耕作業環境，一旦配置上功能完備之環控系統，即可在無人力管理的情況下，進行生態循環運行，並可穩定養耕作作物成長。

最後，在探討各項智慧節能的功效後，我們可發現未來的智慧節能魚菜養耕互利共生系統，是個講求效率、節省人力及運用可再生能源的設施。除可收成有機無毒蔬果魚蝦外，更可讓環境綠化、淨化空氣、紓解生活壓力、節能減碳等。尤其建議未來可將相關設施融入建築物主體或室內陳設，讓居家環境充滿綠意及生氣。這是未來的新 3C 產業：Clean(節能低碳), Clear(產程透明可規劃), Cool(工作輕鬆舒適、產地認證：Certification Of Origin Labeling)。或許也可能成為未來航太工程、月球和其他星球探索過程中，實現食物自給的重要手段，值得後續再繼續深入研究探討。

肆●引註資料

- 註一、高德錚(1991)。動態浮根式水耕系統之開發與利用。台中市：臺灣省臺中區農業改良場。13-18頁。
- 註二、蕭志欣(2000)。太陽能電池應用於魚菜系統之建構與測試。台中市：國立勤益科技大學冷凍空調與能源系碩士班。17-20頁。
- 註三、香港可再生能源網。2014年10月25日。取自
http://re.emsd.gov.hk/tc_chi/gen/overview/over_what.html。
- 註四、李育明(2007)。認識綠色能源。台北市：高雄市政府環境保護局、新自然主義股份有限公司共同出版。
- 註五、馮堉生(2010)。太陽能發電原理與應用。台北市：五南出版社。
- 註六、張祖亮(1998)。養液栽培之應用技術。種苗生產自動化技術通訊。第三期。台北市：行政院農委會種苗生產自動化技術服務團編印。1-12頁。
- 註七、蔡尚光(2013)。新世紀的精緻農業：水耕栽培的經營。台北市：淑馨出版社。